

ENTWICKLUNG VON AUTOMATIKEN FÜR
MENSCH-MASCHINE-SYSTEME UND ERGEBNISSE IHRES
EINSATZES

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat)
im Fach Psychologie

Eingereicht an der
Lebenswissenschaftlichen Fakultät
Humboldt-Universität zu Berlin

von Dipl.-Inf. Nicolas Niestroj
Präsident der Humboldt-Universität zu Berlin:
Prof. Dr. Jan-Hendrik Olbertz

Dekan der Lebenswissenschaftlichen Fakultät:
Prof. Dr. Richard Lucius

Gutachter:

1. Prof. Dr. Hartmut Wandke
2. Prof. Dr. Matthias Rötting
3. Prof. Dr. Pierre Sachse

Eingereicht am: 22. August 2014
Tag der Verteidigung: 10. April 2015

Nicolas Niestroj: *Entwicklung von Automaten für Mensch-Maschine-Systeme und Ergebnisse ihres Einsatzes*

ZUSAMMENFASSUNG

Im Projekt ArbeitsTeilung Entwickler Operateur (ATEO) wird die Funktionsteilung zwischen Mensch und Maschine erforscht, wobei der Entwickler von Automaten stärker in den Vordergrund gerückt wird. Im Vergleich mit Operateuren wird seine Leistung bei der Steuerung komplexer dynamischer Prozesse durch die entwickelten Automaten gemessen. Dabei entscheidet die Antizipationsleistung der Entwickler weit im Voraus über den Erfolg oder Misserfolg der Automaten. Ein Operateur hat dagegen den Vorteil sehr schnell auf unerwartete Ereignisse zu reagieren, wenn er diese erkennt und die nötige Expertise besitzt, korrekt zu handeln. Für den Vergleich zwischen beiden Gruppen werden gemeinsame Ressourcen wie Zeit und Informationsquellen herangezogen, um so für beide optimale Bedingungen zu schaffen.

Im ATEO Projekt wurden deswegen sowohl für einen gut trainierten Operateur empirische Studien zur Messung der Leistung durchgeführt als auch mit Entwicklerteams. Die Leistung wurde dafür am komplexen dynamischen Prozess SAM (Socially Augmented Micro-world), welcher eine kooperative Tracking-, Manöver- und Navigationsaufgabe für zwei Versuchspersonen darstellt, durch die Geschwindigkeit, Genauigkeit und die Anstrengung gemessen.

Im Rahmen dieser Dissertation wurden zwei Studien durchgeführt. Für die erste Studie wurde studentischen Entwicklerteams im Rahmen von Lehrveranstaltungen an der Humboldt-Universität zu Berlin mehr Zeit gegeben als die für einen Vergleich herangezogene Studie von Saskia Kain mit professionellen Entwicklerteams aus Industrie und Forschung. Der Vergleich dieser beiden Gruppen von Entwicklerteams ergab keine signifikanten Unterschiede in der Qualität der entwickelten Automatenkonzepte. Für die zweite Studie wurde ein sehr gutes Automatenkonzept ausgewählt und seine Leistung im Labor getestet. Im Vergleich zur Leistung von Operateuren aus angesprochenen empirischen Studien des ATEO Projektes konnte durch die Automaten nur die Genauigkeit verbessert werden. Der Unterschied weiterer Leistungsmerkmale wie Geschwindigkeit und Anstrengung der Versuchspersonen während der Durchführung war nicht signifikant. Im Übergang zwischen der eigenen Trackingleistung der Versuchspersonen und einer Leistung mit Unterstützung durch die Automaten zeigte sich eine signifikante Verschlechterung fast aller Leistungsmaße.

Diese neue Situation machte die Mängel in der Antizipationsleistung der Entwickler deutlich. Im Entwicklungsprozess muss also stärker auf das Verhalten von Versuchspersonen eingegangen werden. Aus diesen Ergebnissen lassen sich zusätzliche empirische Studien mit Automaten anschließen und weitere Erkenntnisse zur Frage der Funktionsteilung von Mensch und Maschine unter Einbezug des Entwicklers von Maschinen erlangen.

ABSTRACT

The project ‚ArbeitsTeilung Entwickler Operateur‘ (ATEO) (Division of Labour between Developers and Operators) investigated the function allocation between man and machines for designers of automation and operators. Compared with operators, the designer’s achievements will be measured by the performance of the designed automation controlling complex and dynamic processes. In doing so, efficient anticipation of future events separates the good automation from the bad. The operator, on the other hand, has the advantage of quick reactions to unexpected events, if s/he recognizes them and is trained to act appropriately. Resources like time and amount of information, which are common to these two groups, were used for comparison under equal and optimal conditions.

In the ATEO project several empirical studies were conducted with well trained operators as well as designers of automation. To compare the performance of operators and designers a microworld, which simulates a complex and dynamical process, called SAM (Socially Augmented Microworld) was created as a cooperative tracking, navigating and maneuvering task. Performance was measured using indicators such as speed, accuracy and workload of two test subjects using cooperative tracking with and without assistance of automation.

This thesis reports on two studies. In the first study, students of the Humboldt-University in Berlin designed concepts for automation during the course of the semester, while professional design teams from different companies and research facilities had only two hours for the conception phase in a comparable study conducted by Saskia Kain. When comparing these two groups, student and professional design teams, the quality and quantity of these concepts of automation did not show significant differences. For the second study, one of the best rated concepts of automation was tested with subjects, regarding its performance in optimizing the speed, accuracy and workload of test subjects, using SAM and compared with operators. Results showed a significant difference in increased accuracy during the tracking task by the designed automation. The effects of automation were insignificant for the performance indicators speed and workload. The transition from cooperative tracking with and without assistance of automation during the same experiment showed a significant decrease in almost all performance dimensions, when the automation should have supported the subjects.

These findings show the importance of integrating human behaviour into the design process and the problems of designers anticipating these behaviours. This study suggests many follow up automation studies to gain in-depth knowledge of function allocation between man and machine with a specific focus on the designers of automation.

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich meine tiefe Dankbarkeit für all diejenigen zum Ausdruck bringen, die mich in den letzten Jahren begleitet haben und maßgeblich dazu beitrugen, dass diese Arbeit überhaupt möglich wurde. Allen voran möchte ich meinem Doktorvater Prof. Dr. Hartmut Wandke danken, der immer eine offene Tür hatte, mich in vielen Diskussionen inhaltlich beriet und immer unterstützt hat. Ebenso möchte ich Prof. Dr. Matthias Rötting dafür danken, dass er mich als Zweitbetreuer unterstützte.

Im Rahmen des ATEO Projektes danke ich vor allem Jens Nachtwei dafür, dass er nach meiner Diplomarbeit so viel Vertrauen in mich hatte, mir diese Dissertation in einem fremden Fachgebiet zuzutrauen und mich ermutigte, dieses Wagnis einzugehen. Charlotte von Bernstorff danke ich für die Zusammenarbeit, den Austausch und die Unterstützung weit über die Grenzen des Projektes hinaus.

Sebastian Kunert möchte ich für sein Interesse an meiner Arbeit und die Selbstverständlichkeit, mit der er mir mit Rat und Tat zur Seite stand, danken. Emilija Meier-Faust danke ich für ihren Einsatz und ihre Ausdauer beim Bewerten der Konzepte und den vielen kleinen Dingen, die sie mir abgenommen hat.

Prof. Dr. Klaus Bothe und Michael Hildebrandt möchte ich ganz herzlich für die Unterstützung bei der Durchführung der Lehrveranstaltungen und der Betreuung unzähliger Diplomanden danken.

Andreas Wickert danke ich besonders für seinen unermüdlichen Einsatz und die Unterstützung, vor allem in Krisensituationen während laufender Untersuchungen mit den Automaten.

Astrid und Karsten Münch möchte ich ganz herzlich für ihre Unterstützung vor allem während der Zeit des Schreibens und am Ende der Arbeit beim Korrekturlesen und den letzten Verbesserungen danken. Dr. Gudrun Dieberg danke ich für die tollen Anmerkungen beim englischen Abstract.

Des weiteren danke ich sehr Guido Kiecker, Christin Arndt, Claudia Walther, Carla Strauss, Stephan Bedenk, Prof. Dr. Hans-Dieter Burkhard, Prof. Dr. Pierre Sachse, Hardy Smieszek, Saskia Kain, Knut Polkehn, Jochen Heyden, Michael Sengpiel, Joachim Warning, Grit Scholz, Sandra Widera, Michael Hasselmann, Aydan Seid, Helmut Weidner-Kim, Nikolai Kosjar, Esther Fuhrmann, Stefan Schulze, Martin Schneider, Kathrin Dodt sowie meiner Familie Hilde, Thomas, Saskia und Dennis.

Ganz besonders möchte ich Alessa Münch für ihren unermüdlichen Einsatz beim Korrektur lesen und beim Diskutieren der unzähligen Versionen der einzelnen Kapitel danken. Danke für deine Unterstützung und dass du mich auf dieser nicht immer leichten Reise begleitet hast.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
2	DIE KOMPONENTEN DER ATEO EXPERIMENTAL SUITE	13
2.1	Das ATEO Lab System (ALS)	13
2.1.1	Die Socially Augmented Microworld (SAM)	13
2.1.2	Der Operateur und das ATEO Master Display (AMD)	17
2.1.3	Das ATEO Automation Framework und die Konfiguration von Automaten	25
2.2	Fragebogen zur Messung von Kontrollerleben	32
2.2.1	Methodik	32
2.2.2	Ergebnisse	34
2.2.3	Zusammenfassung	36
3	DER ENTWICKLUNGSPROZESS VON AUTOMATEN - EINE LANGZEITSTUDIE	41
3.1	Vorarbeiten	42
3.2	Die Langzeitstudie	47
3.2.1	Einleitung	47
3.2.2	Methodik	48
3.2.3	Ergebnisse	53
3.2.4	Diskussion	56
4	ÜBERPRÜFUNG DER WIRKSAMKEIT VON AUTOMATEN	61
4.1	Einleitung	61
4.2	Fragestellung	64
4.3	Versuchsdesign	68
4.4	Versuchsdurchführung	70
4.5	Ergebnisse	73
4.5.1	Aufbau und Aufbereitung der Logdateien	73
4.5.2	Prüfung der H1	74
4.5.3	Prüfung der H2	77
4.6	Diskussion	80
5	ZUSAMMENFASSUNG & AUSBLICK	85
5.1	Ausblick	87
5.1.1	Vergleich zwischen studentischen und professionellen Entwicklern	87
5.1.2	Zusammengefügte Konzepte	88
5.1.3	Erkenntnisgestützte Automatenkonzepte	88
5.1.4	Operateure als Entwickler	89
5.1.5	Ältere Menschen als MWB oder Entwickler	89
5.1.6	Methodische Verbesserungen	89
	LITERATURVERZEICHNIS	91
A	FRAGEBOGEN KONTROLLERLEBEN	99
A.1	Vorstudie	99
A.1.1	Items vor der Reduktion	99
A.1.2	Szenariobeschreibung	99

A.2	Ergebnisse	102
B	AUFGABENBESCHREIBUNG UND MATERIAL DER LEHRVER- ANSTALTUNGEN	109
B.1	Aufgabenbeschreibung	109
B.1.1	Aufgabe 1	109
B.1.2	Aufgabe 2	109
B.1.3	Aufgabe 3	111
B.2	Vorlage des Sitzungsprotokolls	112
B.3	Vorlage des Pflichtenheftes	113
B.4	Gutachten der Studentischen Leistungen des Seminars im Wintersemester 2010/2011	114
C	VERSUCHSMATERIAL: ENTWICKLUNG VON AUTOMATIKEN	119
C.1	Konzeptbeschreibungen	119
C.2	Konzept 19	119
C.2.1	Automatik 1: Umgebungsanalyse	119
C.2.2	Automatik 2: Fahrerskalierung	122
C.2.3	Automatik 3: Gabelungsentscheidung	126
C.2.4	Automatik 4: Notfallautomatik	127
D	VERSUCHSMATERIAL FÜR DAS ALS	131
D.1	Instruktionen	131
D.1.1	Startinstruktion vor Fahrt 1 und Fahrt 3	131
D.1.2	Endinstruktion nach Fahrt 1 und Fahrt 3	131
D.1.3	Startinstruktion vor Fahrt 2 und Fahrt 4	131
D.1.4	Endinstruktion nach Fahrt 2 und Fahrt 4	132
D.1.5	Startinstruktion vor Fahrt 5	132
D.1.6	Endinstruktion nach Fahrt 5-10	133
D.1.7	Startinstruktion vor Fahrt 6, Fahrt 7 und Fahrt 9-11	133
D.1.8	Startinstruktion vor Fahrt 8	133
D.1.9	Endinstruktion nach Fahrt 11	133
D.2	eingesetzte Fragebögen	134
D.2.1	vor der Untersuchung eingesetzte Fragebögen	134
D.2.2	nach der Untersuchung eingesetzte Fragebögen	134

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1	statische Hindernisse (25% Abdeckung der Fahrbahn) mit anschließender Gabelung	15
Abbildung 2	Gabelung mit eckigen Abzweigungen	16
Abbildung 3	Gabelung mit runden Abzweigungen	16
Abbildung 4	Das ATEO Master Display (AMD)	18
Abbildung 5	AMD: der Systemstatus und die Anstrengung der Mikroweltbewohner	19
Abbildung 6	AMD: die Streckenansicht von SAM	21
Abbildung 7	AMD: die visuellen Hinweise des Operators	22
Abbildung 8	AMD: die auditiven Hinweise des Operators	22
Abbildung 9	AMD: die Beschränkung der Geschwindigkeit durch den Operator	23
Abbildung 10	AMD: die Eingriffe Richtungsbeschränkung und Anpassung der Steuergewalt	24
Abbildung 11	AMD: die Messung des Situationsbewusstseins des Operators	25
Abbildung 12	Das AAFGT mit drei Automatikfunktionen	26
Abbildung 13	Bewertungspunkte für die Automatikkonzepte 1-10	46
Abbildung 14	Ablauf des Seminars mit den Messzeitpunkten	52
Abbildung 15	Visuellen Hinweis der Automatik vor einer Gabelung	65
Abbildung 16	Verschiedene Kurvenarten in SAM	66
Abbildung 17	Angepasste Skala zur Messung der subjektiv empfundenen Anstrengung $RSME_A$	70
Abbildung 18	Auswahlbildschirm der Teaminstruktion	71
Abbildung 19	Individuelle Instruktion für Mikroweltbewohner 1	72
Abbildung 20	Mittelwert der Zeit in Minuten aufgetragen über die Fahrten 9, 10 und 11	76
Abbildung 21	Mittelwert des Erlebens von Kontrollverlust aufgetragen über die Fahrten 6-11	80
Abbildung 22	Screeplot der Eigenwerte: Stichprobe 1.1: S-Bahn fahren und E-Mail versenden mit Kontrolle	102
Abbildung 23	Screeplot der Eigenwerte: Stichprobe 1.2: S-Bahn fahren und E-Mail versenden ohne Kontrolle	104
Abbildung 24	Screeplot der Eigenwerte: Stichprobe 2.1: S-Bahn fahren mit und ohne Kontrolle	104

Abbildung 25	Screeplot der Eigenwerte: Stichprobe 2.2: E-Mail versenden mit und ohne Kontrolle	107
--------------	---	-----

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1	MABA-MABA List nach Fitts (1951)	4
Tabelle 2	Levels of Automation (LOA) nach Sheridan und Verplank (1978)	5
Tabelle 3	Auditive Hinweise des Operateurs	23
Tabelle 4	Fragen zur Messung von Situationsbewusstsein	24
Tabelle 5	Implementierte und einsatzbereite Automatikfunktionen	27
Tabelle 6	Anteil der umgesetzten Automatikfunktionen der Konzepte in Prozent	29
Tabelle 7	Beschreibung der zusammengelegter Stichproben einzelner Fragebögen	35
Tabelle 8	Ergebnisse der Voraussetzungstests für die Hauptkomponentenanalyse mit obliquer Rotation	36
Tabelle 9	Klassifizierungsergebnisse der Diskriminanzanalyse	37
Tabelle 10	Items des Fragebogens „Kontrollerleben“	38
Tabelle 11	Faktorladungen der finalen 12 Items nach der Hauptkomponentenanalyse mit obliquer Rotation (Stichprobe 2.1)	39
Tabelle 12	Stufen der unabhängigen Variable Informationsquellen	43
Tabelle 13	Bewertungspunkte für die Automatikkonzepte der Stufe 3	45
Tabelle 14	Erfahrung der Studenten in der Entwicklung	50
Tabelle 15	Aufgaben für die Studenten	51
Tabelle 16	Vermittlung von Informationen zur Konzeption von Automaten	52
Tabelle 17	Vermittlung von Informationen zur Implementation und zum Test von Automaten	53
Tabelle 18	Bewertungspunkte für die Automatikkonzepte der professionellen Entwickler	54
Tabelle 19	Bewertungspunkte für die Automatikkonzepte der studentischen Entwickler	54
Tabelle 20	Vergleich der Qualität der Automaten zwischen Diplom- und Bachelorstudenten zu den Messzeitpunkten t ₁ und t ₂	55
Tabelle 21	Vergleich der Qualität und Anzahl der Automaten zwischen professionellen und studentischen Entwicklern	55
Tabelle 22	Anzahl und Länge der Teamsitzungen	56

Tabelle 23	Ablauf des Versuches und Eigenschaften der Strecken	69
Tabelle 24	Logklassen und die Anzahl der gespeicherten Systemvariablen	74
Tabelle 25	t-Test: Unterschiede zwischen den Fahrten 7 und 8	75
Tabelle 26	ANOVA: Unterschiede zwischen den Fahrten 9, 10 und 11	76
Tabelle 27	ANOVA: Unterschiede zwischen den Studien mit HO, CAM und AM in Fahrt 7	77
Tabelle 28	ANOVA: Unterschiede zwischen den Studien mit HO, CAM und AM in Fahrt 9, 10 und 11	78
Tabelle 29	ANOVA: Unterschiede zwischen den Studien mit HO, CAM und AM in Fahrt 9, 10 und 11	78
Tabelle 30	ANOVA: Unterschiede im Erleben von Kontrollverlust in den Fahrten 6-11	79
Tabelle 31	Items der Subskala "Durchschaubarkeit"	99
Tabelle 32	Items der Subskala "Vorhersehbarkeit"	99
Tabelle 33	Items der Subskala "Beeinflussbarkeit"	100
Tabelle 34	Items der Skala "Realismus"	100
Tabelle 35	Faktorladungen der Items nach der Hauptkomponentenanalyse mit obliquer Rotation: Stichprobe 1.1: S-Bahn fahren und E-Mail versenden mit Kontrolle	103
Tabelle 36	Faktorladungen der Items nach der Hauptkomponentenanalyse mit obliquer Rotation: Stichprobe 1.2: S-Bahn fahren und E-Mail versenden ohne Kontrolle	105
Tabelle 37	Faktorladungen der Items nach der Hauptkomponentenanalyse mit obliquer Rotation: Stichprobe 2.1: S-Bahn fahren mit und ohne Kontrolle	106
Tabelle 38	Faktorladungen der Items nach der Hauptkomponentenanalyse mit obliquer Rotation: Stichprobe 2.2: E-Mail versenden mit und ohne Kontrolle	108
Tabelle 39	Umcodierung der Konzeptnummerierung von Saskia Kain	120
Tabelle 40	eingesetzte Fragebögen nach Fahrt 1 und 3	134
Tabelle 41	eingesetzte Fragebögen nach Fahrt 11	135
Tabelle 42	Gestellte Fragen am Ende des Versuches	136

EINLEITUNG

„Weniger Mensch, bitte!“

So titelte die Süddeutsche Zeitung am 3. August 2013 in einem Artikel und argumentierte für den verstärkten Einsatz von Automation zur Verhinderung von Verkehrsunfällen durch das Verringern von menschlichen Fehlern. Weiter schrieb sie, „gerade im Auto wäre die Herrschaft der Technik ein Segen“ (Berndt, 2013).

Dieser Forderung wird in der Praxis oft nachgegeben und so werden von den Entwicklern besonders im Bereich der Fortbewegung immer komplexere Automaten entworfen und implementiert. Die immer neuen technischen Möglichkeiten machen die zunehmende Automatisierung möglich und das äußert sich in der Automobilindustrie vor allem durch die Entwicklung von unzähligen Assistenzsystemen.

Das neue S-Klasse Coupé von Mercedes Benz beinhaltet eine Fülle dieser Assistenzsysteme, die sich zu einem ganzheitlichen System verbinden. Dazu gehören zum Beispiel Magic Body Control, welches das Fahrwerk des Autos auf die vor ihm liegende Strecke anpasst. Ebenfalls werden Abstandshalter, adaptiver Bremsassistent, Park-Assistent, Spurhalte-System, Toter-Winkel-Assistent, Seitenwind-Assistent, Aufmerksamkeitsassistent, welcher den Müdigkeitsgrad des Fahrers einschätzen kann, und viele mehr verbaut. Die Sicherheit beim Autofahren soll durch diese Assistenzsysteme immer weiter verbessert werden, führt aber auch zu einer erhöhten Risikobereitschaft des Fahrers.

Im Gegensatz dazu soll bei anderen Herstellern wie Ford der Fahrspaß vor allem bei hohen Geschwindigkeiten gesteigert werden. Um die Sicherheit trotzdem zu erhöhen und Unfälle zu vermeiden, stellten sie vor kurzem eine adaptive Lenkunterstützung vor, welche das Manövrieren bei allen Geschwindigkeiten unterstützt.

Die Sicherheit stellt in der Branche, ähnlich wie die Süddeutsche Zeitung fordert, ein zentrales Kriterium für die Entwicklung von Automaten dar.

Durch autonome Autos kann sie weiter gesteigert und der Autofahrer durch eine Automatik vollständig ersetzt werden. Google testete bereits 2009 Fahrzeuge mit Autopilot und hat kürzlich ebenfalls erste Prototypen vorgestellt, die ohne Lenkrad ausgestattet sind. Prognosen sehen uns bereits in 10-15 Jahren in Autos einsteigen, die keinen Fahrer mehr benötigen¹.

In der Luftfahrt gibt es dieses Konzept des Autopiloten, also eines vollkommen autonomen Fluges, bereits seit 1912. Dieser wurde seitdem nicht nur weiterentwickelt, sondern durch eine große An-

¹ siehe dazu <http://www.autonomes-fahren.de/>

zahl von weiteren Automaten zum Flight Management System ergänzt, welches Routen auf Grund von Wegpunkten, Tankfüllungen oder Wetter kalkulieren und bei Bedarf ausführen kann. Das „Glass Cockpit“, welches digitale Anzeigen verbaut, löste das „steam cockpit“ ab, welches den Piloten mit einer unübersichtlichen Anzahl an analogen Instrumenten und Schaltern herausforderte. Immer weiter werden die Anzeigen in einzelne Displays integriert und Informationen komprimiert und aufbereitet dargestellt. Mit den sechs grundlegenden Instrumenten Fahrtmesser, künstlicher Horizont, Höhenmesser, Wendezeiger, Kurskreisel und dem Variometer, auch Steigmesser genannt, sind heute neben einem Magnetkompass und der Tankanzeige alle wichtigen Informationen zum Fliegen im direkten Sichtfeld des Piloten angeordnet. Zu den am häufigsten verbauten Automaten in Flugzeugen gehört das Traffic Alert and Collision Avoidance System (TCAS), welches von anderen nahen Flugzeugen die Richtung, Entfernung, Annäherungsgeschwindigkeit, Höhe und Steig-/Sinkrate abfragt und basierend auf diesen Informationen die Kollisionswahrscheinlichkeit berechnet, um den Piloten eine Empfehlung zum Ausweichen zu geben (Resolution Advisory) oder auf sich nähernde Flugzeuge hinzuweisen (Traffic Advisory).

In der Flugverkehrskontrolle (Air Traffic Control) wird ebenfalls vermehrt auf den Einsatz von Automaten gesetzt, vor allem zum Aufbereiten von Informationen, wie sie bspw. durch den elektronischen Flugstreifen gegeben werden. Ein anderes Beispiel ist das Center TRACON Automation System (CTAS), welches den Lotsen dabei unterstützt, Flugzeuge mit angemessenem Abstand voneinander für eine Landung zu ordnen und Befehle zum Senken oder Aufsteigen der Flugzeuge zu geben. Um die Sicherheit der Passagiere an Bord von Flugzeugen zu verbessern, soll der Fluglotse durch die Automaten entlastet werden, damit in Situationen, wo sehr viele Flugzeuge zeitgleich in den überwachten Luftraum ein und austreten, weniger Fehler entstehen.

In der Schifffahrt führte die Automatisierung und digitale Sensorik dazu, dass ein großer Frachter inzwischen von wenigen Offizieren gesteuert werden kann, wo früher noch wesentlich mehr Menschen im Einsatz waren.

Eine gängige Definition von Automation, welche die Grundlage dieser Dissertationsschrift sein soll, stammt von Parasuraman und Riley (1997):

„We define automation as the execution by a machine agent (usually a computer) of a function that was previously carried out by a human. What is considered automation will therefore change with time. When the reallocation of a function from human to machine is complete and permanent, then the function will tend to be seen simply as a machine operation, not as automation.“

So definierten Parasuraman und Riley (1997) eine Automatik als eine Funktion, welche zuvor von einem Menschen und nun durch eine Maschine oder Computer ausgeführt wird. Sie schränkten weiter ein, dass Funktionen, welche permanent und vollständig von Maschinen ausgeführt werden, keine Automaten mehr sind, sondern zu einem festen Bestandteil der Maschine wurden. So kann sich das Verständnis davon, was eine Funktion der Maschine oder eine eigenständige Automatik ist, mit der Zeit ändern.

Die Automatisierung von Tätigkeiten, wie sie vormalig von Menschen ausgeführt wurden, durchdringt also sowohl die Arbeit vieler Berufsgruppen, als auch den privaten Alltag. Piloten und Fluglotsen werden während ihrer Arbeit von Automaten unterstützt oder Züge und Schiffe durch hochautomatisierte Maschinen angetrieben. In der Fertigungsindustrie unterstützen Roboter beim Zusammenbau von Autos, welche im privaten Kontext dem Fahrer die Möglichkeit geben, sich schnell und sicher fortzubewegen. Aus der Sicht des Fahrers werden diese Automaten dann zu unterstützenden Assistenzsystemen. Die unaufhaltsame technische Entwicklung ermöglicht immer komplexere Formen von Automaten, weswegen die Frage der Funktionsteilung, also welche Funktionen vom Menschen und welche von Maschinen ausgeführt werden sollen, bei jeder neu zu entwickelnden Automatik beantwortet werden muss. Heute wie damals versucht die Wissenschaft die nötige Theorie hierzu zu schaffen und forscht bspw. intensiv im Bereich des autonomen Fahrens (Flemisch, Bengler, Bubb, Winner & Bruder, 2014), wie auch eine Special Section zum Thema Automation in Fahrzeugen in Merat und Lee (2012) zeigt.

Die Einführung von Automaten in der Prozess- und Fertigungsindustrie sowie in der Luft- und Raumfahrt, bei Zügen, Autos, Schiffen und in der Luftüberwachung wurde nach dem Zweiten Weltkrieg in den USA vor allem durch das Militär und die NASA stetig vorangetrieben. Man erhoffte sich durch die Unterstützung der Maschinen, Aufgaben, welche zuvor noch von Menschen ausgeführt werden mussten, schneller, sicherer, kostengünstiger und zuverlässiger durchzuführen. Die Technisierung, die durch die Erfindung elektronischer Schaltkreise und der ersten Computer möglich wurde, barg ungeahnte Möglichkeiten.

Nicht nur konnten die Produktivität erhöht und die Anstrengung der Operateure reduziert, sondern auch Routineaufgaben an Automaten übergeben werden, welche diese anschließend mit weniger Fehlern und präziser ausführen konnten. Diese Veränderungen führten zu einer Steigerung der Sicherheit bei der Arbeit oder im Alltag.

Ingenieure strebten deswegen lange Zeit nach Lösungen, die den Menschen als unzuverlässige und fehleranfällige Komponente im System durch Automaten ersetzten und fokussierten in der Entwicklung lange Zeit auf die Vollautomation.

Damit änderte sich die Rolle des Menschen drastisch von einem regelnden und einflussreichen Operateur, der zum Beispiel in der Prozessindustrie über eine Leitwarte die volle Kontrolle über einen Fertigungsprozess hatte, zu einer beobachtenden und überwachenden

den Rolle (Sheridan, 1987), wo Automaten die meisten Aufgaben des Operators übernahmen und Informationen aufbereiteten. Seine Aufgabe war es folglich nur noch, die Automatik zu überwachen, Anzeigen zu beobachten, im Fehlerfall einzugreifen und nur in diesen Fällen die Prozesssteuerung manuell zu übernehmen (supervisory control).

In der Wissenschaft wurde diese damals neuartige Zusammenarbeit zwischen Menschen und Maschinen erstmals grundlegend in Fitts (1951) diskutiert. Um die fundamentale Entscheidung, welche Aufgaben von Maschinen übernommen werden sollten, im jeweiligen Entwicklungsprozess von automatischen Systemen zu treffen, hatte Fitts eine auf den Stärken des Menschen und der Maschine aufbauende Liste vorgeschlagen (siehe Tabelle 1). So sollten vor allem die Schwächen des Menschen durch die Maschine ausgeglichen werden. Diese statische Funktionsteilung wurde unter anderem in Chapanis (1965) und Edwards und Lees (1974) diskutiert und weitere Listen wurden aufgestellt, so dass dieser Ansatz allgemein unter MABA-MABA-Listen (Men are better at - Machines are better at) zusammengefasst wurde.

Tabelle 1: MABA-MABA List nach Fitts (1951)

Men Are Better At	Machines Are Better At
detecting small amounts of visual, auditory, or chemical energy	responding quickly to control signals
perceiving patterns of light sound	applying great force smoothly and precisely
improvising and using flexible procedures	
storing information for long periods of time and recalling appropriate parts	storing information briefly, erasing it completely
reasoning inductively	reasoning deductively
exercising judgment	

Zusätzlich zu der Entscheidung, welche Funktion der Mensch oder die Maschine übernimmt, stellte sich die Frage, zu welchem Grad die Aufgabe automatisiert werden soll. Im Rahmen eines Forschungsprojektes im Kontext der Telerobotik entwarfen Sheridan und Verplank (1978) dazu ein Modell, welches zehn verschiedene Stufen der Automation (Levels of Automation) für die Handlungsphase der Entscheidungsfindung definierte.

Diese Entscheidungsfindung kann der Entwickler den Menschen selbst überlassen und dann für die Ausführung der gewählten Aktion die Kontrolle der Maschine zuweisen (Level 1) oder verschiedene Formen der gemeinsamen Entscheidungsfindung wählen (Levels 2-5)

bis hin zu einer Arbeitsteilung, welche die Verantwortung immer stärker bei der Automatik sieht (Levels 6-9). Die zehnte Stufe sieht letztendlich vor, dass die Automatik die Entscheidung, ob eingegriffen werden soll, selbst fällt, und wenn sie eingreifen möchte, ebenfalls alleine entscheidet, ob der überwachende Mensch über diese Eingriffe informiert werden sollte. Tabelle 2 listet diese Stufen der Automation im Detail auf. Verschiedene andere Modelle zu den Graden der Automation wurden später von Endsley (1987); Endsley und Kaber (1999) diskutiert.

Tabelle 2: Levels of Automation (LOA) nach Sheridan und Verplank (1978)

Stufe	Beschreibung der Stufe der Automation
1	Human does the whole job up to the point of turning it over to the computer to implement
2	Computer helps by determining the options
3	Computer helps determine options and suggests one, which the human need not follow
4	Computer selects action and human may or may not do it
5	Computer selects action and implements it if human approves
6	Computer selects action, informs human in plenty of time to stop it.
7	Computer does whole job and necessarily tells human what it did.
8	Computer does whole job and tells human what it did only if human explicitly asks.
9	Computer does whole job and tells human what it did and it, the computer, decides he should be told.
10	Computer does whole job if it decides it should be done, and if so tells human, if it decides he should be told.

Diese Stufen der Automation wurden von Parasuraman, Sheridan und Wickens (2000) aufgegriffen und auf vier typische Handlungsphasen des Menschen angewendet (Rasmussen, 1986). Diese zehn Levels of Automation können so nicht nur für die Handlungsphase der Entscheidungsfindung angewendet werden, sondern auch auf die Phase der Informationserfassung, der Informationsverarbeitung und -analyse und der Handlungsausführung (Stages of Automation). In ihrem Artikel empfehlen die Autoren vor allem die ersten beiden Handlungsphasen, nämlich die Informationserfassung und -verarbeitung, stärker zu automatisieren und die beiden letzten (Entscheidungsfindung und Handlungsausführung) mehr dem Menschen zu überlassen und die Automatik vor allem als unterstützende Kraft einzusetzen. So sollten die Probleme, welche mit der voranschreiten-

den Automatisierung entstanden, gelöst werden. Wickens, Li, Santamaria, Sebok und Sarter (2010) fassten dies zum Grad der Automation (Degree of Automation) zusammen und schufen so eine integriertes Modell zur Beschreibung und Einordnung von Automaten. Diese Modelle helfen ebenfalls dabei, eine Funktionsteilung zwischen Mensch und Maschine zu entwickeln und über Vor- und Nachteile von Automaten zu diskutieren.

Unabhängig davon, in welchen Phasen wie stark automatisiert wird, bergen Automaten neue Probleme, und so formulierte Shackel (1967) bereits weitreichenden Forschungsbedarf im Umgang mit Automaten. Er sah die neue Form der Beanspruchung der Menschen als ein zentrales Thema und merkte an, dass die Methoden zur Erstellung sowie das Wissen um die Folgen der Automatisierung zu der Zeit weitestgehend unbekannt waren. In der Luftfahrt befassten sich Wiener und Curry (1980) eingehend mit den Vor- und Nachteilen des Einsatzes von Automaten, vor allem im Cockpit von Flugzeugen, und zeigten die Folgen des Einsatzes auf die Zusammenarbeit von Mensch und Automatik und die sich ändernde Rolle des Operators von Akteur zum Beobachter auf.

Wenige Jahre später wurden diese neuartigen Probleme durch die Automation im Rahmen eines Workshops der NASA ausführlich diskutiert und die Ergebnisse in Boehm-Davis, Curry, Wiener und Harrison (1983) als offene Forschungsfragen festgehalten.

Die damals erkannten Probleme umfassten unter anderem den Verlust manueller Fähigkeiten (skill degradation) dadurch, dass der Operator in seiner überwachenden Rolle nur noch in wenigen Ausnahmefällen manuell eingreifen musste. So verlor er durch die fehlende tägliche Übung, welche Handgriffe nötig waren, um sowohl bei Routineaufgaben den Prozess zu regeln als auch in Notsituationen entsprechende Maßnahmen zu entwickeln und durchzuführen (Endsley, 1995). Diese Notsituationen waren jedoch oft die, die durch die Automatik nicht mehr gelöst werden konnten, weil die Entwickler keinen Algorithmus gefunden und diese Situation den Operateuren überlassen hatten, oder weil die Situation von den Entwicklern nicht antizipiert worden war. Durch die fehlende Routine beim manuellen Bedienen ohne Unterstützung durch Automaten, fiel es den Operateuren in diesen seltenen Fällen schwer, schnell und präzise reagieren zu können (Bainbridge, 1983; Wiener & Curry, 1980). In diesen Situationen, in denen der Operator nicht mehr Teil des Prozesses war (out of the loop unfamiliarity), fehlte das Situationsbewusstsein, welches zusätzlich nötig war, um zeitnah Fehler wie den Ausfall einer Automatik zu erkennen oder Notsituationen zu antizipieren (Endsley & Kiris, 1995). Wenn die Automaten darüber hinaus so konzipiert waren, dass sie kein ausreichendes Feedback zum Zustand des Prozesses oder der Automatik gaben und so bspw. den internen Modus der Automatik wechselten, konnte es zu schweren Fehlern in der Benutzung kommen und das Situationsbewusstsein weiter sinken (Nor-

man, 1990; Sarter & Woods, 1995; Wiener, 1989).

Ein weiteres Problem entstand, wenn der Operateur sehr stark in die Korrektheit der Automatik vertraute, auch wenn diese nicht vollständig fehlerfrei arbeitete. So wurde durch diese Sorglosigkeit (complacency) ein mögliches Fehlverhalten oder ein Ausfall der Automaten spät oder gar nicht erkannt (Manzey & Bahner, 2005; Moray & Inagaki, 2000; Parasuraman, Molloy & Singh, 1993; Wiener, 1981).

Mangelndes Vertrauen in die Automatik kann wiederum dazu führen, dass die Automatik falsch oder gar nicht verwendet wird (Parasuraman & Riley, 1997). Der Mensch verlässt sich dann lieber auf seine eigenen manuellen Fähigkeiten als die potentiell fehlerhafte, aber hilfreiche Automatik zu nutzen. Dies kann zu einer Verschlechterung der Produktivität und zu Fehlern in der Benutzung führen. Sollte die Automatik ausfallen oder nicht den Erwartungen des Operators entsprechend zuverlässig funktionieren, ist Vertrauen ein entscheidendes Kriterium für die Nutzung bzw. der Akzeptanz der Automatik (Lee, 1994; Lee & See, 2004).

Wiener und Curry kamen bereits 1980 zu der Erkenntnis, dass fest zugeordnete Aufgaben, die sich im Betrieb nicht ändern, keine in der Praxis anwendbare Lösung des Problems der Funktionsteilung sein konnte. Und auch Hancock und Scallen (1996) wiesen darauf hin, dass in einer sich ständig verändernden dynamischen Umgebung eine statische Funktionsteilung nicht flexibel genug ist, um auf den Fortschritt reagieren zu können. Auch veralteten die MABA-MABA Listen sehr schnell, so dass sie regelmäßig überarbeitet werden mussten.

Deswegen gilt als ein viel versprechender Ansatz die dynamische Funktionsteilung durch adaptive Automaten (Hancock & Chignell, 1988; Hancock, Chignell & Loewenthal, 1985; Inagaki, 2003; Rouse, 1988). Eine adaptive Automatik kann sich bspw. an der Anstrengung des Menschen orientieren und Aufgaben übernehmen sowie zurückgeben, so dass eine konstante Arbeitsbelastung erreicht werden kann. Der Operateur kann so zu jeder Zeit in den Prozess involviert sein und in kritischen Phasen sehr viel schneller reagieren, da ein besseres Situationsbewusstsein besteht und die manuellen Fähigkeiten stärker gefördert werden. Es konnte in einer Studie gezeigt werden, dass mehr Fehler der Automatik entdeckt und damit die Überwachungsleistung erhöht werden konnte, wenn adaptive Automaten Aufgaben an die Operateure zurückgaben (Parasuraman, Mouloua & Molloy, 1996).

Bei einer dynamischen Funktionsteilung ist es umso wichtiger, dass Mensch und Maschine als Team arbeiten. Dazu gehört gegenseitiges Feedback (Scerbo, 1996), um das Situationsbewusstsein des Teams hoch zu halten (Endsley, 1997) und Probleme, wie sie durch den unachtsamen Operateur entstehen, zu vermeiden (Endsley & Kiris, 1995). So regen Bubb-Lewis und Scerbo (1997) an, dass eine aktive Beziehung zwischen Mensch und Maschine entstehen muss, Woods (1996) spricht von Teamplay und Christoffersen und Woods (2002) be-

schreiben mögliche Ansätze für Entwickler, wie man Automaten zu Mitspielern machen kann.

Für die Entwickler von Automaten ist dies ein kreativer Prozess, der in jedem neuen Kontext und für jede neue Automate auf ein Neues durchlaufen werden muss. Es wird vermutlich nie eine klare Vorgehensweise geben, die immer angewendet werden kann, wenn Schnittstellen zwischen Menschen und Maschinen gestaltet werden. Um diese im Entwicklungsprozess auftretenden Entscheidungen wohl überlegt zu treffen und so viele Situationen, in denen die Automate fehlschlagen könnte, wie möglich antizipieren zu können, muss der Mensch hinter der Automate bestmöglich unterstützt werden. Das Projekt „Arbeitsteilung Entwickler Operateur (ATEO)“ fokussierte sich deswegen auf die Ressourcen des Entwicklungsprozesses, z.B. Zeit und Informationsquellen, interdisziplinäre Zusammensetzung der Entwicklerteams oder individuelle professionelle Erfahrung. Diese Ressourcen und deren optimale Ausprägung sollte einen Vergleich zwischen der Leistung von Operateuren und Entwicklern von Automaten möglich machen und Erkenntnisse für eine gute Zusammenarbeit und Funktionsteilung liefern. Diese Funktionsteilung ist nicht mehr als eine synchrone im aktiven Betrieb zwischen Operateur und Automate, sondern als eine asynchrone zwischen dem Operateur und dem Entwickler von Automaten zu verstehen (Wandke & Nachtwei, 2008).

Für die im Rahmen dieser Dissertation geplanten und durchgeführten Studien im ATEO Projekt wurde eine eigene Untersuchungssoftwaresuite (ATEO Experimental Suite - AES) entwickelt, welche als zentrale Komponente die Socially Augmented Microworld (SAM) als Simulation eines komplexen dynamischen Prozesses enthält. Das neuartige sind zwei Versuchspersonen, die als Mikroweltbewohner (MWB) in die Mikrowelt integriert wurden. Zusammen sollten sie eine kooperative Tracking-, Manöver- und Navigationsaufgabe durchführen und hatten jeweils 50% Einfluss auf ein Fahrobjekt, welches so schnell und so genau wie möglich eine Wegstrecke entlang von Start bis Ziel bewegt werden sollte. Dabei gab es immer wieder Gefahrensituationen in Form von statischen oder dynamischen Hindernissen auf der Strecke oder Gabelungen, an denen sich für eine der beiden Abzweigungen entschieden werden musste. So entstand eine dynamische und komplexe Aufgabe, die sowohl von Operateuren als auch von Entwicklern mit im Voraus konzipierten Automaten unterstützt werden kann. Die Qualität der Unterstützung wurde dafür durch die Leistung der Mikroweltbewohner anhand der Geschwindigkeit und Genauigkeit des Trackings erhoben. Weitere Komponenten der AES sind eine Leitwarte für den Operateur (ATEO Master Display - AMD) sowie ein Framework inklusive Konfigurationsoberfläche, zum Programmieren und Konfigurieren von Automaten (ATEO Automation Framework - AAF sowie AAF Graphical Tool - AAFGT). Diese Komponenten der AES werden im Detail in Kapitel 2 vorgestellt sowie in Kapitel 4 bei der Beschreibung der Versuchs-

durchführung vertieft.

Als eine der ersten möglichen Ressourcen wurde im Rahmen des ATEO Projektes der Einfluss unterschiedlicher Informationsquellen auf die Antizipationsleistung von Entwicklern von Krinner (2008) in einer Studie mit Studenten technischer Studiengänge untersucht. Dabei hatten die Probanden zwei Stunden Zeit, Konzepte zur Unterstützung der Mikroweltbewohner bei der Trackingaufgabe in SAM zu entwerfen und schriftlich zu fixieren. Eine Gruppe von Entwicklern bekam dabei für die Konzeption lediglich die schriftliche Beschreibung von SAM zur Verfügung gestellt, während die zweite Gruppe die Steuerung ausprobieren konnte, um so einen tieferen Einblick in die Herausforderungen der Trackingaufgabe in SAM zu bekommen. Die dritte Gruppe bekam zusätzlich Informationen aus einer Videoaufzeichnung des Trackingprozesses sowie die Möglichkeit, Benutzerinterviews mit MWB durchzuführen.

Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen, weswegen für eine Folgestudie ein Extremgruppenvergleich mit Ressourcenmaximierung durchgeführt wurde. Die ressourcenreiche Gruppe war zum einen interdisziplinär mit Studenten der Informatik, der Psychologie sowie mit Studenten einer Designhochschule zusammengesetzt und erhielt alle Informationsquellen der vorherigen Studie. Zum anderen konnten die Probanden Wissen aus dem Bereich der Mensch-Technik-Interaktion vorweisen. Die ressourcenarme Gruppe bestand aus Teams mit nur zwei Studenten im Hauptstudium technischer Studiengänge und konnte lediglich auf die schriftliche Beschreibung von SAM zurückgreifen. Im Vergleich der beiden Gruppen zeigten sich signifikante Unterschiede in den unterstützten Handlungsphasen, so dass vielfältigere und abwechslungsreiche Konzepte durch die Extremgruppe entstanden.

In der Folgestudie wurden, diesmal von Saskia Kain durchgeführt, erneut die Informationsquellen als Ressource untersucht, mit dem Unterschied, dass anstelle von Studenten professionelle Entwickler aus Industrie und Forschung mit Schwerpunkt auf Mensch-Maschine-Interaktion gebeten wurden, Konzepte zur Unterstützung der MWB in SAM zu entwerfen. Dabei wurde in drei Gruppen die Anzahl der Informationsquellen variiert. Die Ergebnisse waren nicht signifikant, tendenziell entwickelte die Gruppe mit den meisten Informationsquellen die im Durchschnitt qualitativ besseren Konzepte. Es ist darüber hinaus gelungen, ein Bewertungssystem zu entwickeln, welches Konzepte miteinander vergleichbar macht. Dieses Bewertungssystem sowie die durchgeführte Studie werden näher in Abschnitt 3.1 beschrieben und für die eigene Studie in Kapitel 3 angewendet.

Das übergeordnete Ziel der Untersuchungen von Cordula Krinner und Saskia Kain war es, unter optimierten Bedingungen ein Konzept zu erstellen, welches als Automatik eingesetzt die MWB in SAM möglichst gut unterstützt und die Leistung dieser verbessert. Welche Bedingungen optimal sind, haben die Studien nicht eindeutig

gezeigt. Interdisziplinarität, Kenntnisse im Bereich Mensch-Technik-Interaktion sowie eine maximale Anzahl an Informationsquellen zeigten mögliche positive Effekte auf die Qualität. In der vorliegenden Arbeit sollte darauf aufbauend ermittelt werden, welchen Einfluss Zeit als Ressource auf die Qualität der Automatikkonzepte hat.

Dafür wurden im Rahmen eines Seminars am Institut für Informatik der Humboldt-Universität zu Berlin von studentischen Entwicklerteams Konzepte für Automaten entworfen, implementiert und getestet. Um den Aufwand im vorgesehenen Rahmen eines Seminars zu halten, wurde die Aufgabe auf die Situation der Weggabelungen in SAM eingeschränkt. Den Studenten wurden im Laufe des Seminars Informationen zu Mensch-Maschine-Interaktion, zu SAM, zum Operator und seiner Leitwarte (ATEO Master Display AMD) vermittelt. Die Konzepte wurden anschließend mit dem Bewertungssystem von Saskia Kain beurteilt und mit den Konzepten ihrer Studie verglichen. Insgesamt konnten so neun Automatikkonzepte entworfen, implementiert und getestet werden. Diese Studie wird ausführlich in Kapitel 3 dargestellt.

Ein in den vorherigen Studien entstandenes Konzept sollte anschließend im Rahmen einer Laborstudie mit der Leistung eines gut ausgebildeten Operators mit optimierter Leitwarte verglichen werden.

In Nachtwei (2006) wurde für diesen Vergleich eine Leitwarte, das ATEO Master Display (AMD), konzipiert, umgesetzt und evaluiert. Dafür wurden drei empirische Studien durchgeführt, in denen das AMD sukzessive mehr Eingriffsmöglichkeiten bot und basierend auf den Erfahrungen aus den Studien iterativ verbessert werden konnte. Die Ergebnisse des Einsatzes des AMD der dritten Studie, im folgenden als Human Operator (HO) Studie genannt, konnten in einer replizierten Studie von Stade (2012) bestätigt werden. Die Stichproben konnten auf Grund der identischen Versuchsdurchführung zusammengelegt werden.

In von Bernstorff (2014) wurde das AMD durch Automaten ergänzt, die vom Operator anstelle manueller Eingriffe eingesetzt werden konnten. Dafür wurden alle auditiven und visuellen Hinweise, die ein Operator an die MWB senden kann, als adaptierbare Automaten integriert. So konnte die Leistung dieses ersten Ansatzes kooperativer Zusammenarbeit von Mensch und Maschine untersucht werden. Im folgenden wird diese Studie auf Grund des Einsatzes dieser Form der Automation Cooperative Automation (CAM) Studie genannt.

Die Leistung der Operateure in diesen beiden Studien (HO und CAM) sollte im Vergleich zu der einer Automatik näher untersucht werden, um so Hinweise darauf zu erhalten, wie gut eine unter vermeintlich optimalen Bedingungen entwickelte Automatik gegen einen trainierten und unter optimalen Bedingungen arbeitenden Operator abschneidet. Diese zentrale Studie wird in Kapitel 4 detailliert beschrieben und diskutiert.

Die Dissertationsschrift schließt im Kapitel 5 mit der Zusammenfassung und Diskussion aller Studien ab und gibt einen Ausblick auf mögliche Folgestudien.

DIE KOMPONENTEN DER ATEO EXPERIMENTAL SUITE

Um den Fragestellungen des ATEO Projektes nachgehen zu können, wurde viel Aufwand betrieben und eine eigene Software-Suite¹ für Experimente im Projekt entwickelt. Am Ende ist die ATEO Experimental Suite (AES) entstanden, welche sowohl aus Software für Untersuchungen von Fragestellungen aus dem Bereich der Ingenieurpsychologie als auch aus Programmen für Fragebögen und Skalen sowie Konfiguration und Auswertung von Versuchen besteht. In den neun Jahren der Projektlaufzeit wurden sie immer weiter verbessert und weiterentwickelt. In diesem Kapitel sollen diese Programme vorgestellt werden, da sie eine zentrale Rolle einnehmen und ohne ein grundlegendes Verständnis das Vorgehen und die Ergebnisse nicht diskutiert werden können.

2.1 DAS ATEO LAB SYSTEM (ALS)

Das ATEO Lab System (ALS) beschreibt den experimentellen Aufbau der Untersuchung und besteht aus mehreren Softwareprodukten, welche entweder über Programm- oder über Netzwerkschnittstellen miteinander verbunden sind (Niestroj, 2009). Dazu gehören die Socially Augmented Microworld (SAM), das ATEO Master Display (AMD) sowie das ATEO Automation Framework (AAF), welches in Kombination mit dem AMD oder als vollständiger Ersatz eingesetzt werden kann. Diese drei Komponenten bilden den zentralen Untersuchungsgegenstand, der die experimentellen Daten in Form von Logdateien liefert. Das ALS beschreibt aber auch den Aufbau der Hardware, welche aus mehreren PCs und Monitoren, Joysticks, Netzwerktechnologie wie ein Switch sowie Webcams besteht. Auch zusätzliche Laptops, auf denen weitere Programme laufen, werden zum ALS gezählt. In den folgenden Unterkapiteln sollen diese Komponenten und deren Zusammenspiel näher vorgestellt werden.

2.1.1 *Die Socially Augmented Microworld (SAM)*

Für die Untersuchungen von Operateuren und Entwicklern von Automaten wurde in einem langjährigen Softwareprojekt eine Versuchsoftware entwickelt, welche die Erstellung, Verwaltung und Auswertung von Experimenten auf schnelle und einfache Art und Weise ermöglicht. Dabei sollte es spezielle Aspekte technischer Systeme abbilden und gleichzeitig unabhängig von speziellen Domänen wie Luft-

¹ Unter einer Software-Suite versteht man den Zusammenschluss von mehreren Computerprogrammen zu einer Einheit, die durch übergeordnete Informationen wie Versionsnummern, Autor oder Lizenz weiter beschrieben werden kann.

oder Raumfahrt sein (Wandke & Nachtwei, 2008). Die Wahl fiel auf Mikrowelten, da sie komplexe, dynamische technische Prozesse wie z.B. ein Lebenserhaltungssystem einer Raumstation, welches mit dem Cabin Air Management System AutoCAMS 2.0 (siehe Manzey et al. (2008)) abgebildet wurde, in einer kontrollierbaren Umgebung bringen. In dieser werden unabhängige Variablen kontrollierbar sowie abhängige Variablen des Systems messbar (DiFonzo, Hantula & Bordia, 1998).

Die besonderen Anforderungen des ATEO Projektes bestanden darin, einen Prozess im Labor abzubilden, welcher nicht deterministisch ist und vom Entwickler nach einer bestimmten Zeit durchschaut werden könnte. So wäre es ihm möglich eine Automatik zu konzipieren, die den Prozess perfekt steuert und so auch sicher besser ist als ein Operateur. Ein zufälliges Verhalten würde dagegen dazu führen, dass Entwickler keine Chance hätten, prospektiv bestimmte wiederkehrende Ereignisse zu antizipieren und mit Hilfe von Automaten Unterstützung anzubieten. In solchen Situationen hätte der Operateur einen entscheidenden Vorteil dem Entwickler gegenüber. Der Vergleich zwischen von Entwicklern konzipierten Automaten und Operateuren wäre einseitig entschieden.

In den ersten drei Jahren des Projektes wurde deswegen die erste Version der Socially Augmented Microworld (SAM) entwickelt. Dafür wurde der Typ von Mikrowelt, wie er von Brehmer und Dörner (1993) beschrieben wurde, um zwei Versuchspersonen, sogenannte Mikroweltbewohner (MWB), erweitert. Diese soziale Komponente wird in die Mikrowelt eingebettet und die Aufgabe gestellt, eine kooperative Tracking-, Navigations- und Manöveraufgabe zu absolvieren. Dafür steht beiden MWB je ein Joystick zur Verfügung, mit dem sie jeweils zu 50% Einfluss auf die Steuerung des Trackingobjektes haben. Dieses kooperative Tracking erhöht die Komplexität im Vergleich zu gewöhnlichen Mikrowelten entscheidend. Die Strecken, welche befahren werden sollten, wurden in Gross (2004) entwickelt und die Komplexität empirisch getestet. Es entstand ein Werkzeug, mit dem beliebige Strecken aus einer überschaubaren Anzahl an Streckenelementen zusammengesetzt werden konnte. In Nachtwei (2006) wurde der Einfluss der Personenmerkmale der MWB auf die Komplexität der Mikrowelt untersucht und für die Merkmale Strategie und Expertise konnte ein Zusammenhang zu den Trackingmaßen Geschwindigkeit und Genauigkeit für Single-Tracking nachgewiesen werden. Das kooperative Tracking wurde von Engelbrecht (2007) auf Interaktionsstrategien untersucht und es konnte gezeigt werden, dass Interaktionsstrategien entstanden, welche durch Instruktionen beeinflusst wurden. Die Versuchspersonen verhielten sich in der Regel kooperativ. Um die Komplexität, Dynamik und Undurchsichtigkeit als Eigenschaften einer Mikrowelt auch für SAM gewährleisten zu können, wurden die Präferenzen der Versuchspersonen, schnell oder genau zu fahren, untersucht (Gross & Nachtwei, 2006) und für die Erhöhung der Komplexität als brauchbar identifiziert. Aus diesem Grund werden die MWB in SAM gegensätzlich instruiert, um die Komplexität

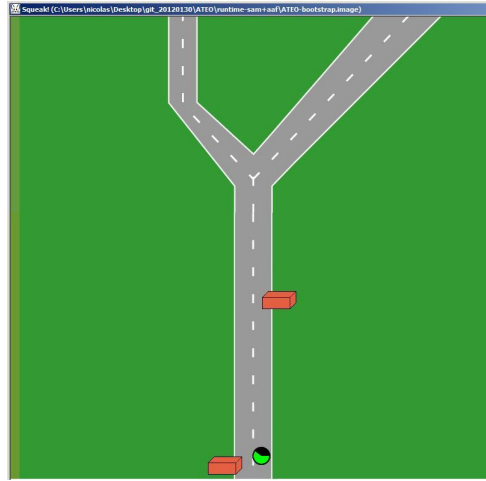


Abbildung 1: statische Hindernisse (25% Abdeckung der Fahrbahn) mit anschließender Gabelung

des Systems durch Konflikte in Entscheidungssituationen zu erhöhen. Einem MWB wird dafür die Instruktion gegeben, vor allem schnell zu fahren, die Genauigkeit zwar nicht zu vernachlässigen, aber weniger stark zu beachten. Dem anderen MWB wird die Instruktion gegeben, zwar schnell aber besonders genau zu fahren. Über diese Instruktionen dürfen die Versuchspersonen während des Versuches nicht reden, weswegen verbale Kommunikation während der Untersuchung nicht gestattet ist. Eine nonverbale Kommunikation war so noch möglich. Diese könnte man ebenfalls durch Trennwände oder getrennte Räume für die beiden MWB zusätzlich unterbinden. In den bisher durchgeführten Studien wurde diese aber noch zugelassen.

Die Entscheidungssituationen, in denen unterschiedlich instruierte MWB die Komplexität des Systems erhöhen, sind statische und dynamische Hindernisse sowie Gabelungen. Als Slalom eingeordnet kommen statische Hindernisse, welche entweder 25% oder 50% der Fahrbahn verdecken (siehe Abbildung 1), vor.

Für dynamische Hindernisse, welche von links nach rechts ins Bild treten, wurde die Geschwindigkeit jedes Mal so angepasst, dass es zu einer potentiellen Kollision kommen würde. So sollte sichergestellt werden, dass das Hindernis die Strecke kreuzt, wenn die MWB passieren wollen. Die Entscheidung für die MWB war folglich, zu bremsen und das Hindernis passieren zu lassen oder zu beschleunigen und vor dem Hindernis zu passieren. Eine Kollision mit statischen oder dynamischen Hindernissen führt zu einer Zeitstrafe von einer Sekunde und das Setzen des Fahrobjektes neben die Strecke. So wird eine Kollision auf den beiden Leistungsmaßen Geschwindigkeit und Genauigkeit bestraft. Die Konzeption und die technische Umsetzung wurden vom Autor durchgeführt und können im Detail in Niestroj (2008) nachgelesen werden. Die Hindernisse erweitern SAM zusätzlich zur Trackingaufgabe zu einer Manöveraufgabe.

In Situationen, wo Gabelungen auftreten, wird SAM zusätzlich zu einer Navigationsaufgabe, in der die Entscheidung getroffen werden muss, einen langen aber breiten oder einen schmalen aber dafür schein-

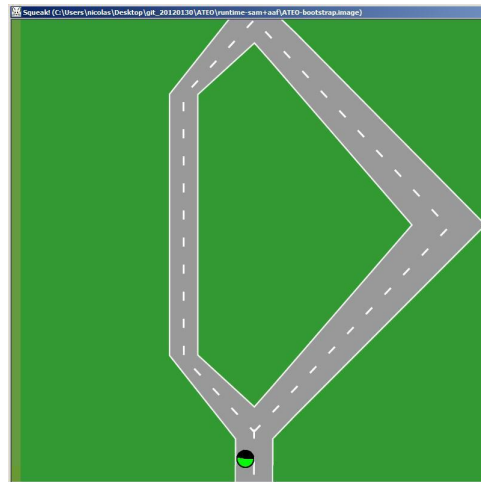


Abbildung 2: Gabelung mit eckigen Abzweigungen

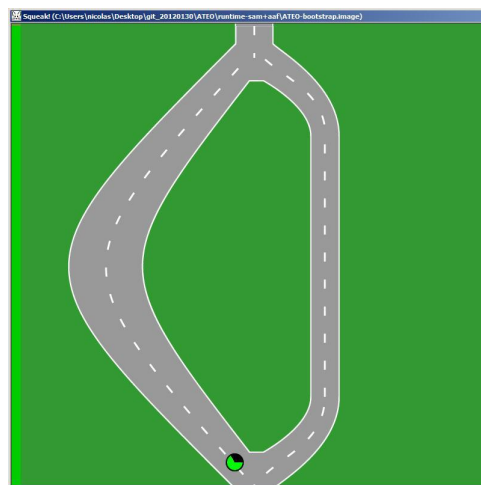


Abbildung 3: Gabelung mit runden Abzweigungen

bar kürzeren Weg zu wählen (siehe Abbildung 2 und Abbildung 3). Die präferierte Wahl ist für die beiden gegensätzlich instruierten MWB jeweils unterschiedlich, da der genaue Weg länger erscheint und der schnellere mit mehr Abweichungen von der Strecke und damit mit einer erhöhten Ungenauigkeit verbunden ist.

Zusammenfassend wurde mit SAM ein komplexer, dynamischer Prozess durch die Integration von Versuchspersonen in diese technische Mikrowelt und das Herbeiführen von Entscheidungssituationen mit Konfliktpotential zwischen den Versuchspersonen entwickelt. Dieses Verhalten der MWB bei der Tracking-, Manöver- und Navigationsaufgabe ist nicht deterministisch und kann im Nachhinein erklärt werden. Sowohl Entwickler als auch Operateure haben vergleichbare Möglichkeiten, diesen Prozess zu optimieren. Keiner der beiden ist durch SAM benachteiligt.

SAM ist die zentrale Versuchssoftware, an der die Fragestellungen des ATEO Projektes untersucht werden können, welche sich mit der Arbeitsteilung zweier Personengruppen, der Operateure und der Entwickler von Automaten, befassen (Wandke & Nachtwei, 2008).

Beiden wird die Aufgabe gestellt, diesen komplexen dynamischen Prozess SAM zu optimieren. Dafür wurden Leistungsmerkmale definiert, nämlich sowohl die Geschwindigkeit und Genauigkeit, mit der die Mikroweltbewohner ihre Aufgabe erfüllen, als auch ihre Anstrengung nach den Fahrten. Geschwindigkeit wird über die benötigte Zeit vom Start bis zum Ziel gemessen und die Genauigkeit ist die Abweichung von der Mittellinie der Fahrbahn in SAM (Root Mean Square Error bei Trackingaufgaben). Die Anstrengung wird von den Mikroweltbewohnern nach jeder Fahrt subjektiv mit Hilfe einer nach Zijlstra (1993) eigens angepassten Rating Skala, Rating Scale Mental Effort (RSME_{ATEO}), eingeschätzt. Durch die Integration von Versuchspersonen in SAM ist das Verhalten des Systems nichtmehr grundsätzlich vorhersehbar für den Operateur oder den Entwickler von Automaten, aber die Versuchspersonen verhalten sich in der Regel nicht so zufällig oder irrational, dass Operateure oder Entwickler keine Gelegenheit für Eingriffe hätten. Beide können das Verhalten der Versuchspersonen analysieren und Erklärungen dafür finden. Der Entwickler muss dafür zeitlich wesentlich früher mögliches Verhalten antizipieren, während ein Operateur auf dieses direkt und ohne zeitliche Verzögerung reagieren und sein Vorgehen flexibel anpassen kann. Dafür steht dem Operateur das ATEO Master Display (AMD) zur Verfügung, über welches er die Mikroweltbewohner bei der Bewältigung der Aufgabe beobachten und regelnd eingreifen kann, wenn er dies für nötig hält. Dem Entwickler wird das ATEO Automation Framework (AAF) für die Umsetzung und den Test der Automaten an die Hand gegeben.

In den folgenden Kapiteln sollen AMD und AAF beschrieben werden beginnend mit dem AMD des Operateurs.

2.1.2 *Der Operateur und das ATEO Master Display (AMD)*

Der AMD wurde durch einen iterativen Designprozess konzipiert (Nachtwei, 2010) und im Rahmen verschiedener Abschlussarbeiten von Informatikern umgesetzt (Leonhard, 2010, 2013; Schwarz, 2009).

Durch das AMD hat der Operateur verschiedene Möglichkeiten SAM zu überwachen und steuern. Abbildung 4 zeigt im linken Teilbereich des AMD Informationen zu SAM, nämlich den Systemstatus, eine Anzeige zur Anstrengung der beiden MWB, ein Videobild der MWB, eine Streckenansicht mit Streckenvorschau, den Joystickeingaben der MWB sowie die Visualisierung der Bewegung und Schnelligkeit des Fahrobjektes. Im rechten Teil des AMD findet der Operateur die Eingriffe in SAM, und zwar visuelle und auditive Hinweise, die Möglichkeit, die Geschwindigkeit des Fahrobjektes zu reduzieren, die Richtung des Fahrobjektes zu beschränken und die Verteilung des Steuerungsanteils der beiden MWB zu verschieben. Im Folgenden sollen die einzelnen Komponenten des AMD, welche vor jedem Start einer Untersuchung individuell vom Versuchsleiter ein- und ausgeblendet werden können, beschrieben werden.



Abbildung 4: Das ATEO Master Display (AMD)

Systemstatus Im Fenster des Systemstatus werden zur Zeit die individuellen Fahrinstruktionen der beiden Mikroweltbewohner (Geschwindigkeit und Genauigkeit) sowie die Nummer der aktuellen Fahrt dargestellt. Dieser Bereich könnte durch weitere statische Informationen erweitert werden. Für die Anzeige der Anzahl und ab-

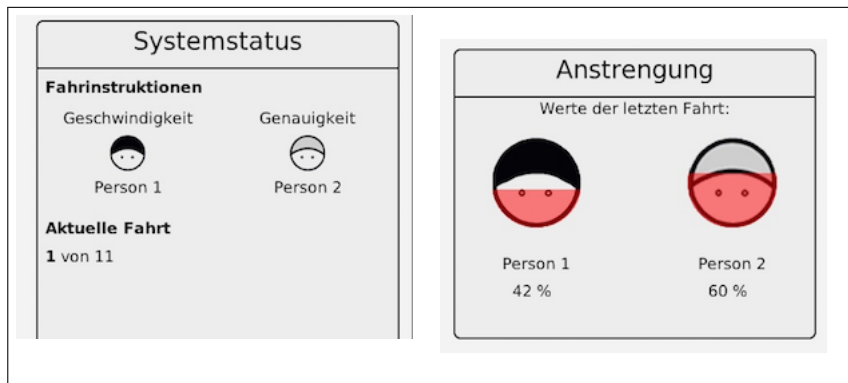


Abbildung 5: AMD: der Systemstatus und die Anstrengung der Mikroweltbewohner

solvierten Fahrten wird die Konfiguration von SAM ausgelesen (Abbildung 5).

Anstrengung Im Fenster für die Anstrengung der Mikroweltbewohner wird die Selbsteinschätzung der Versuchspersonen aus der letzten Fahrt dargestellt. Diese kann von den Versuchspersonen auf dem neben ihnen stehenden Laptops nach jeder Fahrt auf der durch Jens Nachtwei und Saskia Kain nach Zijlstra (1993) und Eilers, Nachreiner und Hänecke (1986) angepassten Rating Scale Mental Effort (RSME_A) angegeben werden. Dafür wurde eigens ein Programm implementiert, welches die Skala abbildet, über eine Netzwerkschnittstelle mit dem AMD verbunden ist und den eingestellten Wert übermittelt. Die beiden schematischen Köpfe der Mikroweltbewohner füllen sich entsprechend von unten nach oben rot, je nachdem, welcher Wert in Prozent angegeben wurde (Abbildung 5).

Videobild der Personen Über das Videobild, welches eine Webcam live an das AMD überträgt, hat der Operateur jederzeit die Möglichkeit die beiden Mikroweltbewohner zu beobachten und so bspw. Anstrengung oder Müdigkeit zu erkennen.

Streckenansicht In der Streckenansicht werden alle Informationen zur Strecke und zum Fahrobjekt integriert. Zentral sieht man die aktuelle Strecke, welche die Mikroweltbewohner ebenfalls sehen, mit einem schwarzen Rand markiert. Darüber hinaus sieht der Operateur ca. vier Bildschirm-längen der Strecke als Vorschau. So sieht er Hindernisse und Gabelungen bevor sie die Mikroweltbewohner sehen und kann seine Aktionen entsprechend planen. Die Bewegungen des Fahrobjektes können nachvollzogen werden, da es sich in der Vorschau genauso bewegt wie auf dem Bildschirm der Mikroweltbewohner. Zusätzlich werden die vergangenen Positionen und Geschwindigkeiten durch einen Schweif am Fahrobjekt visualisiert. Je schwärzer der Schweif des Fahrobjektes ist, desto schneller ist es unterwegs.

Dies spiegelt sich auch in der Realität wieder, wo bspw. Operateure in Stellwerken alle vorausfahrenden und folgenden Züge sehen, der

Zugführer eines speziellen Zuges hingegen in bestimmten Situationen lediglich einen vorausfahrenden Zug. Ebenso verhält es sich bei Fluglotsen und Piloten in der Luftfahrt. Der Fluglotse im Tower hat einen Überblick über den gesamten Flugraum während der Pilot nur das nähere Umfeld des Flugzeuges sieht oder auf einem Display angezeigt bekommt.

Links und rechts von der Strecke befindet sich die Anzeige der Joystickausrückungen. Hier wird die aktuelle Auslenkung der Mikroweltbewohner an den Operateur gemeldet. In die Anzeige ist auch die Darstellung der Einschränkungen der Steuerung durch den Operateur dargestellt. Dies wird in folgenden Abschnitten bei der Beschreibung der Eingriffsmöglichkeiten des Operateurs im Detail ausgeführt.

Visuelle Hinweise Dem Operateur stehen eine Reihe von Hinweisen zur Verfügung. Visuell kann er vor Gabelungen und Hindernissen warnen, die Fahrtrichtung vorschlagen (Pfeil nach links oder rechts) sowie Hinweise zur Geschwindigkeit geben (Pfeil nach oben für schneller und Pfeil nach unten für langsamer fahren). Wenn der Operateur auf einen der Buttons drückt, erscheint bei den Mikroweltbewohnern links und rechts auf dem Bildschirm der auf den Buttons abgebildete Hinweis für 1500 ms. Gleichzeitig erscheint in der Streckenansicht des AMD für die Dauer des Hinweises über beiden Anzeigen der Joystickeingaben das entsprechende Hinweissymbol. Erst nach Ablauf der Anzeigedauer kann ein neuer visueller Hinweis gegeben werden.

Auditive Hinweise Alle auditiven Hinweise, die der Operateur an die Mikroweltbewohner senden kann, können entweder an einen von beiden oder an beide zugleich gesendet werden. Dafür kann der Operateur das Ziel auswählen, wenn er auf einen der Buttons für auditive Hinweise gedrückt hat, was in Abbildung 4 dargestellt ist. Hat der Operateur einen Hinweis an SAM abgeschickt, wird der entsprechende Hinweis auf den Kopfhörern der gewählten MWB abgespielt und neben der Streckenvorschau erscheint für die Dauer des auditiven Hinweises ein Symbol.

Die auditiven Hinweise sind in fünf Gruppen geteilt: Kurvenverhalten, Führung, Fahrtrichtung & Geschwindigkeit sowie Lob. In Tabelle 3 sind alle Hinweise mit den entsprechenden kurzen Texten aufgeführt.

Geschwindigkeitslimit Mit dem Eingriff „Geschwindigkeitslimit“ kann der Operateur die Gesamtgeschwindigkeit des Fahrobjektes reduzieren. So fahren die Mikroweltbewohner langsamer, selbst wenn sie die Joysticks maximal auslenken. Eingestellt werden kann das Limit in Prozent und auf einer Skala von 0-100%. Es gilt für beide Personen gleichermaßen. Mit dem Reset Button wird das Limit aufgehoben und der Schieberegler auf 100% zurückgesetzt.

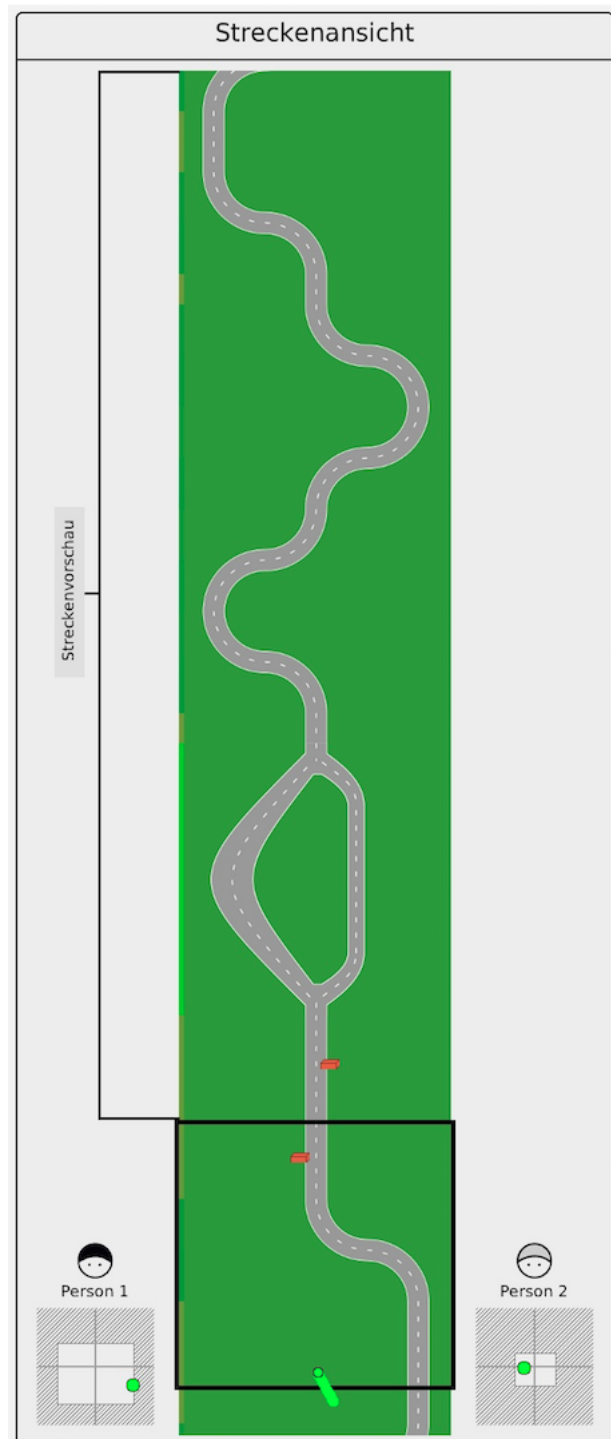


Abbildung 6: AMD: die Streckenansicht von SAM

Die Reduzierung wird in der Darstellung der Joystickausrückung durch ein Herabsenken des oberen Randes des Joystickfeldes visualisiert. In der Abbildung 6 sieht man (am besten bei Person 1), dass der obere hellgraue Kasten sich abgesenkt hat. Das Limit wurde durch den Operateur auf 80% herabgesetzt.

Richtungsbeschränkung Für die Richtungsbeschränkungen stehen dem Operateur zwei Buttons zur Verfügung, mit denen er entweder das Steuern nach links oder nach rechts einschränken kann. Sind bei-

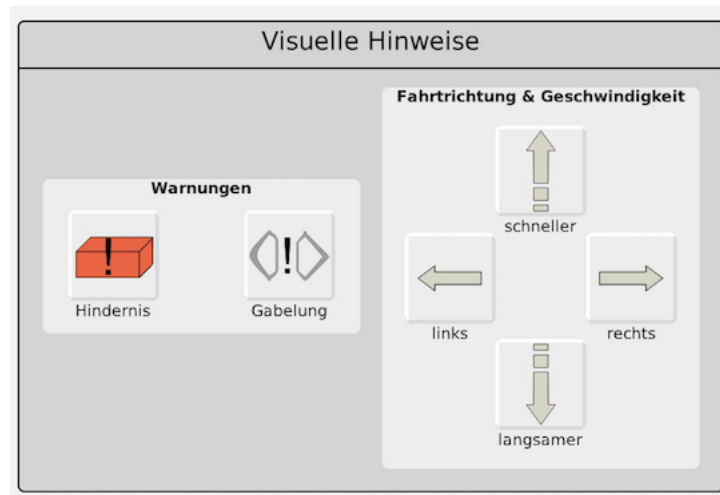


Abbildung 7: AMD: die visuellen Hinweise des Operators

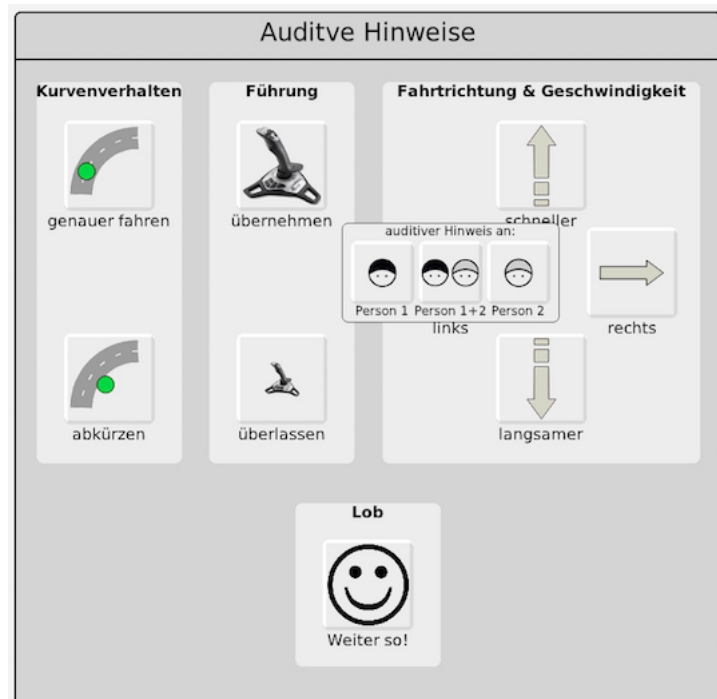


Abbildung 8: AMD: die auditiven Hinweise des Operators

de Buttons aktiviert, können die Mikroweltbewohner nicht mehr lenken und nur nach vorne fahren. Die Aktivierung kann durch den Reset Button wieder rückgängig gemacht werden.

Sind die Richtungen der Mikroweltbewohner eingeschränkt, dann wird in der Darstellung der Joystickausrückung entweder vertikal die Hälfte des linken oder rechten Teils des hellgrauen Joystickfeldes ausgeblendet. In der Abbildung 6 wurde der Eingriff nicht aktiviert und damit auch kein Eingriff angezeigt.

Steuerungsanteil Über die Buttons des Eingriffes „Steuerungsanteil“ kann die Verteilung des Einflusses auf die Steuerung des Fahrobjektes, welcher standardmäßig auf 50% für jeden einzelnen MWB eingestellt ist, verschoben werden. In Schritten von 5% kann so entweder

Tabelle 3: Auditive Hinweise des Operators

Name des Hinweises	gesprochener Text
Kurvenverhalten: genauer fahren	„Kurven genauer fahren“
Kurvenverhalten: abkürzen	„Kurven schneiden“
Führung: übernehmen	„Führung übernehmen“
Führung: überlassen	„Führung überlassen“
Fahrtrichtung & Geschwindigkeit: schneller	„Schneller fahren“
Fahrtrichtung & Geschwindigkeit: langsamer	„Langsamer fahren“
Fahrtrichtung & Geschwindigkeit: links	„Links fahren“
Fahrtrichtung & Geschwindigkeit: rechts	„Rechts fahren“
Lob	„Weiter so“

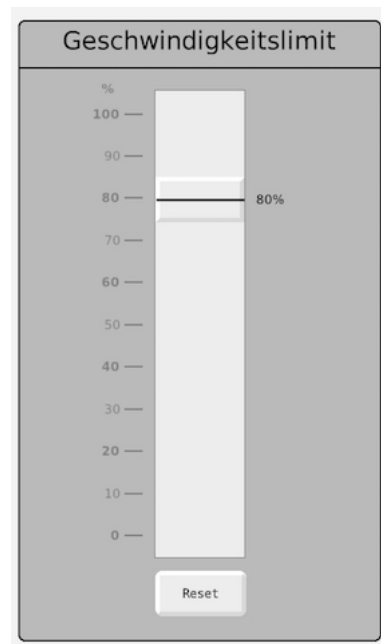


Abbildung 9: AMD: die Beschränkung der Geschwindigkeit durch den Operator

Person 1 oder Person 2 bis zu 100% Einfluss übergeben werden. Die Summe des Einflusses bleibt dabei immer 100%.

Dies wird wieder in der Streckenansicht visualisiert, und zwar durch die sich verändernde Größe des hellgrauen Joystickfeldes. In der Abbildung 6 sieht man, dass Person 2 weniger Einfluss hat, nämlich nur 35%. Dies kann durch den Reset Button wieder auf 50% zurückgestellt werden.

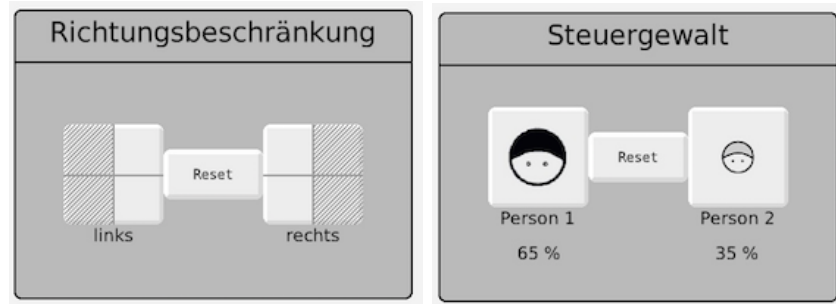


Abbildung 10: AMD: die Eingriffe Richtungsbeschränkung und Anpassung der Steuergewalt

Messung des Situationsbewusstseins Um das Situationsbewusstsein des Operators zu messen, wurde die Situation Present Assessment Method (SPAM) verwendet (Durso & Dattel, 2004), weil diese die Möglichkeit bietet, ohne Unterbrechung der Arbeit des Operators das Situationsbewusstsein zu messen.

Der Messvorgang gestaltet sich auf folgende Weise: es ertönt in den Fahrten 9-11 des Experimentes ein Ton und der linke Button färbt sich grün, was vom Operator innerhalb von 10 Sekunden bestätigt werden muss. Hat er das getan, wird ihm eine Frage zum aktuellen Zustand von SAM durch eine eingespielte Audiodatei gestellt. Die Fragen sind in Tabelle 4 dargestellt. Diese beantwortet er laut dem beitzenden Versuchsleiter und beendet die Messung mit einem Druck auf den rechten Button. Dafür hat er 30 Sekunden Zeit. Die gestellten Fragen sowie die Antwortzeiten können für die Messung des Situationsbewusstseins des Operators konfiguriert werden. Eine möglicherweise erhöhte mentale Beanspruchung durch diese zusätzliche Nebenaufgabe wurde zu Gunsten eines unterbrechungsfreien Experimentablaufs in Kauf genommen.

Tabelle 4: Fragen zur Messung von Situationsbewusstsein

Fahrt	Frage
Training	Welche Person hat die Fahrinstruktion vor allem genau zu fahren? 1 oder 2?
9	Welche Person reagiert momentan schneller auf Ihre Hinweise? 1 oder 2?
10	Welche Person erlebt in dieser Fahrt eine höhere Anstrengung? 1 oder 2?
11	Welche Teilstrecke wird das Fahrobjekt bei der nächsten Gabelung befahren? Breit oder Schmal?

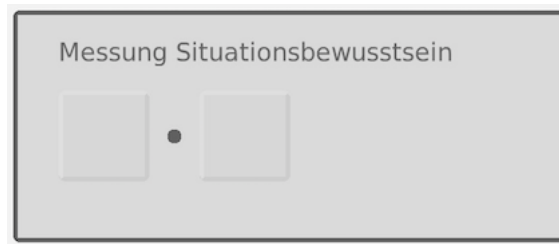


Abbildung 11: AMD: die Messung des Situationsbewusstseins des Operateurs

2.1.3 *Das ATEO Automation Framework und die Konfiguration von Automaten*

Entwickler benötigen kein AMD, da sie zeitlich wesentlich früher eingreifen, indem sie Situationen und Probleme im Prozess antizipieren und Automaten entwerfen, welche diese lösen. Diese konzeptionelle Arbeit kann prinzipiell auf dem Papier gelöst werden. Die entstandenen Automaten müssen aber implementiert werden. Aus diesem Grund wurde ein ATEO Automation Framework (AAF) benötigt.

Im Rahmen seiner noch unveröffentlichten Diplomarbeit entwickelte Michael Hasselmann dieses Framework für Automaten. Die Idee war, Automaten aus einzelnen Funktionen zu kombinieren. So ist es möglich in Parametern konfigurierbare Automatenfunktionen unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen beliebig zu kombinieren. Eine hohe Anzahl an möglichen Automatenkonzepten kann so abgedeckt werden. Die Anforderungen an die Umsetzung waren also Flexibilität, Erweiterbarkeit und vor allem Konfigurierbarkeit der Automaten. Als Ergebnis liegt das ATEO Automation Framework (AAF) vor, welches es ermöglicht, einzelne Funktionen in einem gerichteten Graphen anzuordnen und zu verbinden. Zwischen den einzelnen Knoten, welche den Automatenfunktionen entsprechen, wird ein aktueller Systemzustand von SAM weitergegeben. Dieser Zustand beinhaltet die aktuellen Joystickeingaben der Mikroweltbewohner, die aktuelle Verteilung der Steuerungsgewalt, ein Datenfeld für Bilder wie visuelle Hinweise oder Anzeigen, welche auf dem Bildschirm der Mikroweltbewohner gezeichnet worden sollen. Dieser Zustand ist die Eingabe einer Automatenfunktion, welche diesen dann manipuliert, um ihn an die nächste Automatenfunktion (Knoten im Graph) weiterzugeben. Dieser kann dann die vorgenommenen Manipulationen wieder revidieren oder ergänzen. Die Reihenfolge der Automatenfunktionen ist entscheidend und mögliche Konflikte zwischen den Automatenfunktionen müssen spätestens bei der Konfiguration antizipiert und berücksichtigt werden. Die letzte Automatenfunktion im Graphen bestimmt unter Umständen das gesamte Verhalten der Automaten. Um diese Konfiguration einfach handhabbar zu machen, wurde ein grafisches Programm entwickelt, welches das Erstellen einer Abfolge sowie das Konfigurieren der Parameter einzelner Automatenfunktionen ermöglicht: das ATEO Automation Framework Graphical

Tool (AAFGT) (Fuhrmann, 2010; Kosjar, 2011). Dieses wurde iterativ entwickelt und mit Hilfe von Usability Evaluationen stetig verbessert.

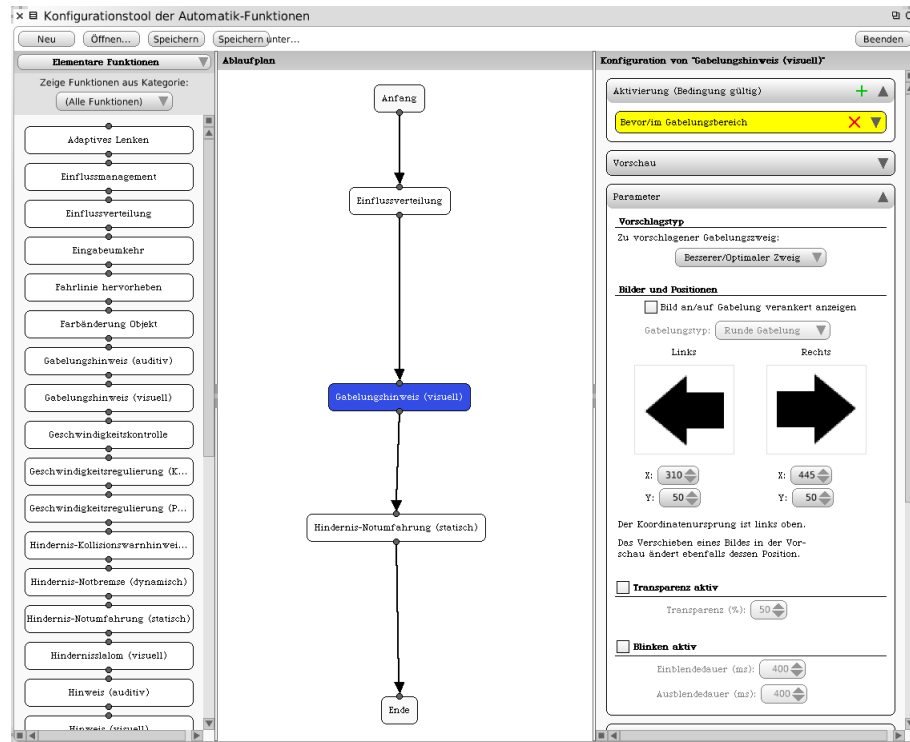


Abbildung 12: Das AAFGT mit drei Automatikfunktionen

Abbildung 12 zeigt im linken Bereich des AAFGT eine Liste aller verfügbaren Automatikfunktionen im ATEO Projekt, welche in den mittleren Bereich via drag&drop als Knoten in den Graphen eingefügt werden können. Die einzelnen Knoten müssen in der vorgesehen Reihenfolge angeordnet und verbunden werden. Im rechten Bereich erscheinen die Konfigurationsmöglichkeiten der ausgewählten Automatikfunktion, hier die für einen visuellen Hinweis vor Gabelungen. Die erstellte Automatik kann gespeichert und für die folgenden Experimente in SAM eingebunden werden.

Für die Experimente im ATEO Projekt wurden 30 konfigurierbare Automatikfunktionen auf Grundlage von 30 schriftlichen Automatikkonzepten aus einer Studie von Saskia Kain (siehe dazu Abschnitt 3.1) von Informatikern unter der Leitung des Autors im Zeitraum von 2011-2014 implementiert (Kosjar, 2012; Seid, 2012; Weidner-Kim, 2014; Wickert, 2013). Dabei hat sich herausgestellt, dass die schriftlichen Konzepte erweitert und ergänzt werden mussten, um diese funktionsfähig implementieren zu können. Das lag an der oft detailarmen Dokumentation der Automatikkonzepte, die für eine Entwicklung viele Fragen offen ließen, wie z.B. den Zeitpunkt für die Anzeige eines visuellen Hinweises. Oft wurde nur die Situation selbst angegeben (Gabelungen), aber nicht, ab wann Hinweise und Eingriffe beginnen oder wann sie wieder stoppen sollen. Aus diesem Grund wurde, wann immer es möglich und sinnvoll war, Konfigurationsoptionen programmiert, damit die endgültige konfigurierte Automatikfunktio-

on entweder durch empirische Tests oder durch Ausprobieren gefunden werden konnte. Ein Vorteil des gewählten Weges sind die große Anzahl von Automatikfunktionen, die mehrere Konzepte abdecken können. Tabelle 5 listet die implementierten Automatikfunktionen mit den von den Programmierern vergebenen Namen und Beschreibungen auf und Tabelle 6 zeigt, welche Konzepte so zu welchem Grad abgedeckt werden konnten. Insgesamt sind 66,4% der Konzepte umgesetzt, drei davon zu 100 %. Hierfür wurden die Konzepte analysiert und implementierte Automatikfunktionen konfiguriert und den Konzepten zugeordnet. Die Nummerierung der Konzepte von Saskia Kain von 20-49 wurden zum besseren Verständnis dieser Arbeit auf 1-30 umcodiert. Die Konzepte 1-10 sind dabei der Versuchsbedingung 3 zuzuordnen und damit dem höchsten Maß an Informationsquellen, Konzepte 11-20 der Versuchsbedingung 2 sowie die Konzepte 21-30 der Bedingung 1 (siehe dazu Abschnitt 3.1). Da projektintern die Nummerierung von Saskia Kain verwendet wurde, findet man diese auch in den Diplomarbeiten des Projektes. Aus diesem Grund wurde im Anhang die Umcodierung zum Nachvollziehen dargestellt (Tabelle 39).

Tabelle 5: Implementierte und einsatzbereite Automatikfunktionen

Automatikfunktion	Beschreibung
Adaptives Lenken	Je höher die Geschwindigkeit, desto größer die Lenkeinschränkung durch diese Automatik. Man kann eine kleinste Geschwindigkeit angeben, ab der die Lenkeinschränkung aktiv werden soll. Weiterhin besteht die Möglichkeit, die Einschränkung nach rechts bzw. links unterschiedlich einzustellen.
Einflussmanagement	Reguliert die Einflussverteilung der MWB auf die Steuerung des Fahrobjekt in Abhängigkeit von der Entfernung zur Strecke und vom jeweils zugrunde liegenden Streckenereignis.
Einflussverteilung	Gibt eine feste Einflussverteilung für die MWB vor. Bisherige Einflussänderungen werden damit unwirksam und überschrieben.
Eingabeumkehr	Umkehr der Joystickeingaben der MWB
Farbänderung Objekt	Einfärbung des Fahrobjektes abhängig von seiner Abweichung von der Ideallinie
Fahrlinie hervorheben	Erlaubt das Färben der Mittel(Optimal)- oder Ideallinie.
Gabelungshinweis (auditiv)	auditiver Hinweis vor Gabelungen

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tabelle 5 – Fortsetzung der vorherigen Seite	
Automatikfunktion	Beschreibung
Gabelungshinweis (visuell)	visueller Hinweis vor Gabelungen
Geschwindigkeitskontrolle	Regulierung der Geschwindigkeit des Fahrobjektes je nach Streckensituation
Geschwindigkeitsregulierung (Pfeil)	Anzeige der Abweichung der vertikalen Fahrobjektgeschwindigkeit von der optimalen vertikalen Streckengeschwindigkeit in Form eines Pfeils an
Geschwindigkeitsregulierung (Kästchen)	Anzeige der Abweichung der vertikalen Fahrobjektgeschwindigkeit von der optimalen vertikalen Geschwindigkeit in Form von farbigen Kästchen
Hindernis-Kollisionswarnhinweis (dynamisch)	Warnung vor einer Kollision mit dem dynamischen Hindernis
Hindernis-Notbremse (dynamisch)	Verhindert Kollisionen mit dynamischen Hindernissen durch eine Notbremsung (Stillstand). Die Option „ABS“ lässt ein Lenken zu, „Standard“ nicht.
Hindernis-Notumfahrung (statisch)	Verhindert Kollisionen mit statischen Hindernissen.
Hindernisslalom (visuell)	visuelle Anzeige einer Umfahrung bei statischen Hindernissen
Hinweis (auditiv)	allgemeine Automatikfunktion für jede Art von auditiven Hinweisen
Hinweis (visuell)	allgemeine Automatikfunktion für visuelle Hinweisschilder
Joystickanzeige im Objekt	Anzeige der optimalen Joystickausrückung im Fahrobjekt
Joystick-Navigationsanzeige	konfigurierbare Visualisierung der aktuellen Joystickposition, der Joystick-Sollposition und/oder der Summe der Joystickpositionen für jeden MWB.
Leitplanken	Verhindert das Verlassen der Strecke auf zwei Arten: entweder das Fahrobjekt bleibt am Rand hängen oder es rutscht am Rand entlang.
Optimale Steuerung	Stellt anderen Automatikfunktionen Informationen zur optimalen Rückführung und Steuerung zur Verfügung.

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tabelle 5 – Fortsetzung der vorherigen Seite	
Automatikfunktion	Beschreibung
Pfeile am Objekt	Anzeige der individuellen Joystick-Auslenkung beider MWB, deren Summe und der optimalen Joystick-Auslenkung als Pfeile am Fahrobjekt.
Steuerungsregulierung	Anzeige der Abweichung der MWB-Joystick-Auslenkung von der optimalen Joystick-Auslenkung beider MWB
Steuerungsregulierung am Objekt	Anzeige der Abweichung der aktuellen Fahrobjektrichtung und -geschwindigkeit von der optimalen Fahrobjektrichtung und -geschwindigkeit
Steuerungsvorgabenanzeige	Anzeige der optimalen Joystick-Auslenkung des Fahrobjektes
Streckenrückführung	Führt das Fahrobjekt mit der eingestellten Stärke zurück zur Strecke
Streckenvorschau (visuell)	Einblenden einer Streckenvorschau
Tachometer-Anzeige	Anzeige der Ist-Geschwindigkeit des Fahrobjektes in Form eines Tachometers unter dem Fahrobjekt. Der Tachometer wird abhängig von der Abweichung der Fahrobjektgeschwindigkeit von der optimalen Streckengeschwindigkeit zusätzlich noch gefärbt.
Tempomat-Anzeige	Diese Funktion zeigt Pfeile über dem Fahrobjekt, die die optimale Fahrobjektrichtung zeigen. Die Farbe der Pfeile gibt an, dass die MWB entweder Gas geben oder bremsen sollen.
Toleranzbereich	Diese Funktion zeigt den Toleranzbereich links und rechts außerhalb der Strecke an.

Tabelle 6: Anteil der umgesetzten Automatikfunktionen der Konzepte in Prozent

Konzept	umgesetzt [%]	durch welche Automatikfunktion
1	100%	Streckenvorschau, Gabelungshinweis (visuell), Hinweis (visuell), Hindernisslalom, Fahrlinie hervorheben, Hinweis (auditiv), Geschwindigkeitskontrolle, Streckenrückführung

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tabelle 6 – Fortsetzung der vorherigen Seite		
Konzept	umgesetzt [%]	durch welche Automatikfunktion
2	42%	Steuerungsvorgabeanzeige, Fahrlinie hervorheben, Gabelungshinweis (visuell), Hindernis-Kollisionshinweis (dynamisch)
3	80%	Hinweis (visuell), Einflussverteilung, Hindernis-Notumfahrung, Hindernis-Notbremse, Hindernis-Kollisionshinweis, Streckenrückführung, Gabelungshinweis (visuell)
4	71%	Geschwindigkeitskontrolle, Gabelungshinweis (visuell), optimale Steuerung, Hindernis-Notumfahrung
5	89%	Streckenrückführung, Hindernis-Notumfahrung, Gabelungshinweis (visuell), Gabelungshinweis (auditiv), Hindernis-Kollisionshinweis
6	83%	Gabelungshinweis (visuell), Gabelungshinweis (auditiv), Hinweis (visuell)
7	90%	Streckenvorschau, Hindernis-Notbremse, Hinweis (auditiv)
8	42%	Hindernis-Notumfahrung, Streckenrückführung, Gabelungshinweis (visuell)
9	50%	Gabelungshinweis (auditiv), Hinweis (visuell)
10	75%	Gabelungshinweis (visuell), Adaptives Lenken, Hinweis (visuell), Hinweis (auditiv)
11	75%	Tachometer-Anzeige, Gabelungshinweis (visuell), Hindernis-Notumfahrung, Streckenrückführung, Adaptives Lenken
12	57%	Gabelungshinweis (visuell), Toleranzbereich, Hinweis (auditiv)
13	75%	optimale Steuerung, Geschwindigkeitskontrolle, Geschwindigkeitsregulierung (Kästchen), Gabelungshinweis (visuell), Hinweis (visuell), Hinweis (auditiv), Streckenrückführung, Adaptives Lenken
14	70%	Hindernis-Notumfahrung, Gabelungshinweis (visuell), Gabelungshinweis (auditiv), Hinweis (visuell), Streckenrückführung
15	93%	optimale Steuerung, Fahrlinie hervorheben, Tempomat-Anzeige, Hinweis (auditiv)
16	43%	Joystick-Navigationsanzeige

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tabelle 6 – Fortsetzung der vorherigen Seite

Konzept	umgesetzt [%]	durch welche Automatikfunktion
17	67%	optimale Steuerung, Pfeile am Objekt, Gabelungshinweis (visuell), Hinweis (auditiv), Streckenrückführung
18	100%	Gabelungshinweis (visuell), Geschwindigkeitsregulierung (Pfeil), Hindernis-Notumfahrung
19	100%	Einflussmanagement, Gabelungshinweis (visuell), Gabelungshinweis (auditiv), Hindernis-Notumfahrung, Hindernis-Notbremse
20	67%	optimale Steuerung, Joystick-Navigationsanzeige, Fahrlinie hervorheben, Hindernisslalom, Hindernis-Notumfahrung, Hindernis-Notbremse
21	60%	Gabelungshinweis (visuell), Fahrlinie hervorheben, Hinweis auditiv, Hindernisslalom
22	67%	optimale Steuerung, Joystick-Navigationsanzeige
23	57%	Gabelungshinweis (visuell), Hindernis-Kollisionshinweis (dynamisch)
24	41%	Joystick-Navigationsanzeige, Hindernis-Kollisionshinweis, Hindernis-Notbremse, optimale Steuerung, Steuerungsvorgabeanzeige
25	71%	Steuerungsregulierung am Objekt, Farbänderung Objekt, Geschwindigkeitskontrolle, Gabelungshinweis (visuell)
26	50%	Gabelungshinweis (visuell), Hindernisslalom (visuell), Hinweis (visuell)
27	77%	Joystick-Navigationsanzeige, Hindernis-Kollisionshinweis, Hinweis (auditiv), Geschwindigkeitskontrolle, Hindernis-Notumfahrung
28	67%	Gabelungshinweis (visuell), Hinweis (visuell)
29	50%	Fahrlinie hervorheben, Joystick-Navigationsanzeige, optimale Steuerung, Streckenrückführung
30	92%	Steuerungsregulierung, Gabelungshinweis (visuell), Hindernis-Kollisionshinweis, Streckenrückführung, Hindernis-Notumfahrung

2.2 FRAGEBOGEN ZUR MESSUNG VON KONTROLLERLEBEN

Wenn man die Wirkungsweise von Automaten untersucht, ist es unter anderem von Interesse, wie diese sich auf das Benutzererleben auswirken. Von speziellem Interesse in den folgenden Studien des ATEO-Projektes ist das Erleben von Kontrolle. Wie stark fühle ich mich in meinem Handeln durch die Eingriffe einer Automatik eingeschränkt? Wenn Automaten ohne Feedback arbeiten und still eingreifen, wie verändert sich die Wahrnehmung der eigenen Leistung z.B. beim Autofahren? Wenn Automaten sehr stark eingreifen, führt das zwangsläufig zum Verlust der Kontrolle, die man wie bei einem Autopiloten an die Maschine abgibt. In diesem methodischen Exkurs rücken die Mikroweltbewohner in den Vordergrund und es werden nicht mehr Operateure oder Entwickler betrachtet.

Nach einer Recherche ließ sich aber kein passender Fragebogen zur Erhebung finden. Am ehesten schien die Computer Control Scale (CCS) (Charlton, 2005), welche die empfundene Kontrolle während der Nutzung von Computern misst, für den Einsatz im Projekt geeignet zu sein. Die Items waren aber speziell auf das Benutzen von befehlsgesteuerten Terminals ohne Nutzeroberfläche zugeschnitten, an denen man einen Befehl abgibt und lediglich das Ergebnis zurück gemeldet bekommt. Dazwischen gibt man die Kontrolle an den Computer ab, da dieser unter Umständen weitere Eingaben nicht zulässt. Dieser diskrete Kontext der CCS schien für die analoge Trackingsimulation SAM und den Einsatz von Automaten ungeeignet. Hinzu kam, dass der Fragebogen relativ lang war. In den geplanten eigenen Studien sollte das Kontrollerleben nach jeder beendeten Fahrt erhoben werden, also bis zu elf Mal pro Versuchspersonenpaar. Der Ablauf sollte im Vergleich zu vorherigen Studien im ATEO-Projekt vergleichbar bleiben. Ein zusätzlicher langer Fragebogen war so keine Option, da die Zeit zwischen den Fahrten so deutlich verlängert worden wäre.

Die Entscheidung fiel deshalb auf die Neuentwicklung eines kurzen Fragebogens, welcher spezieller das Erleben von äußerer Kontrolle, bspw. durch Eingriffe von Automaten in das eigene Handeln, erfasst.

2.2.1 Methodik

Die Grundlage für die Formulierung der Items war die Theorie der Handlungskontrolle, welche auf der Handlungsregulationstheorie von Hacker (1973) basiert. Genauer definiert Hacker (2005) dazu den Tätigkeitsspielraum:

„Tätigkeitsspielraum bezeichnet die Gesamtheit der Entscheidungsmöglichkeiten für selbstständige Zielsetzungen im auftragsgerechten Handeln im Sinne der **Beeinflussbarkeit (control)** der eigenen Tätigkeit und ihre Ausführungsbedingungen auf der Grundlage der **Durchschaubarkeit** der Arbeitssituation und **Vorhersehbarkeit** von

Anforderungen.“

Diese Definition kann auf die Tätigkeiten der MWB bezogen werden und Automaten können die drei Aspekte Durchschaubarkeit, Vorhersehbarkeit sowie die Beeinflussbarkeit von SAM entscheidend verändern. Die MWB erleben dies dann als eine auf ihr Handeln ausgeübte Kontrolle.

Für jede dieser drei Dimensionen wurden Items formuliert. So ergaben sich 18 Items, welche auf einer fünfstufigen Likert-Skala mit den Abstufungen (trifft zu (1), trifft eher zu (2), weder noch (3), trifft eher nicht zu (4), trifft nicht zu (5)) beurteilt werden sollten. Wichtige Anforderung an die Skala und der Grund für die geringe Anzahl an Items ist die kurze Bearbeitungszeit. In einer ersten Onlinefragebogenstudie wurden die Itemeigenschaften sowie die Skalenstruktur untersucht.

Für die Prüfung der Items wurden vier fiktive Szenarien geschrieben, in denen sich der Protagonist in Situationen wieder fand, in denen er entweder die volle Kontrolle über sein Handeln hatte und seine Ziele erreichen konnte oder sein Handeln von äußeren Bedingungen diktiert wurden. Angelehnt an die Tracking-, Manöver- und Navigationsaufgabe aus SAM wurden jedem Teilnehmer der Studie sowohl ein technisches Szenario und als auch eines mit Bezug auf Mobilität und Verkehr zugeordnet. So wurde in einem Szenario die S-Bahn in Berlin genutzt, um zu einer Verabredung zu gelangen, wobei es auf dem Weg dahin zu einer Betriebsstörung kam. Die Person im Szenario wusste entweder, wie durch eine Umfahrung genug Zeit für das Einhalten der Verabredung blieb, oder sie verpasste die Verabredung sicher. Die empfundene externe Kontrolle des eigenen Handelns in diesem Fall durch die S-Bahn in Berlin und die Betriebsstörung war hier der zentrale Punkt im Szenario. Für das technische Szenario wurde das Versenden von E-Mails gewählt. Entweder ermöglichte das Programm nach einem Fehler das Versenden der geschriebenen E-Mail, da sich die Person im Szenario gut auskannte und eine Lösung des Problems fand oder das Handeln wurde durch das E-Mailprogramm eingeschränkt und kontrolliert, da ein Versenden nicht möglich war. Den genauen Wortlaut der Szenarien kann im Anhang A.1.2 nachgelesen werden.

Es wurde außerdem darauf geachtet, dass die Probanden die beschriebenen Szenarien so oder ähnlich schon mal erlebt haben, damit sie sich besonders leicht und gut einfühlen können. Erwartet wurde, dass die Probanden abhängig vom Szenario die Items auf der Skala entsprechend niedrig für keine oder wenig erlebte Kontrolle oder umgekehrt ausfüllten. Sollten Items neutral oder entgegengesetzt der erlebten Situation beantwortet werden, kann das auf schwer zu verstehende oder falsch formulierte Items hindeuten. Diese können wahrscheinlich verworfen werden. Die Varianz der spezifischen Aspekte technischer bzw. verkehrsbezogener Szenarien wurde kontrolliert, genauso wie ein möglicher Reihenfolgeeffekt. Jede Versuchsperson bearbeitete deswegen ein technisches und ein verkehrsbezoge-

nes Szenario, wobei immer eines mit Kontrolle und eines ohne Kontrolle zugeordnet wurde. So ergaben sich vier mögliche Fragebögen, welche den Teilnehmern bei Start zufällig zugeordnet wurden:

- S-Bahn fahren mit Kontrolle und E-Mail versenden ohne Kontrolle
- S-Bahn fahren ohne Kontrolle und E-Mail versenden mit Kontrolle
- E-Mail versenden mit Kontrolle und S-Bahn fahren ohne Kontrolle
- E-Mail versenden ohne Kontrolle und S-Bahn fahren mit Kontrolle

Für jede Variante wurden mindestens 100 ausgefüllte Fragebögen gesammelt. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand nun darin, sich in die beschriebenen Situationen so gut wie möglich hineinzuversetzen und die dann folgenden Fragen der entwickelten Skala zu beantworten. Die Onlinebefragung war für die Versuchspersonen als Studie zur Erhebung von Situationserleben ausgezeichnet. Um die Realitätsnähe der Szenarien zu prüfen, wurden drei zusätzliche Fragen eingefügt.

Die Probanden wurden über Studentenverteiler der Universitäten sowie über soziale Netzwerke in ganz Deutschland akquiriert. Da sich ein beschriebenes Szenario auf das S-Bahn fahren in Berlin bezog und es evtl. nicht in jeder Stadt Deutschlands Probleme mit dieser gibt, wurde zusätzlich erfasst, ob man in Berlin ansässig oder bereits gewohnt hat. Es mussten zahlreiche Datensätze ausgeschlossen werden, da sie eine sehr niedrige Beantwortungszeit hatten oder keine Varianz bzw. erkennbare Antwortmuster aufwiesen. Die angestrebte Quote konnte trotzdem erfüllt und insgesamt 452 Versuchspersonen im Alter von 18-58 Jahren ($M = 25,45$ Jahre $SD = 6,37$) über einen Onlinefragebogen befragt werden. Die meisten (71,6%) waren davon weiblich, 28,4 % männlich. Die Hälfte der Versuchspersonen wohnte in Berlin (50,3%).

2.2.2 Ergebnisse

Mit einer Hauptkomponentenanalyse sollen die 18 Items des Fragebogens analysiert werden, um diejenigen auszuschließen, die nicht eindeutig zwischen den drei theoretischen Subskalen differenzieren oder von den Versuchspersonen nicht verstanden wurden. Dafür werden fünf verschiedene Stichproben untersucht, um mögliche Störvariablen zu kontrollieren. Reihenfolgeeffekte der Szenarien wurden ausgeschlossen, da die Versuchspersonen entweder das Szenario „E-Mail versenden“ oder „S-Bahn fahren“ als erstes erhielten und das jeweils andere folglich als zweites. Diese Stichproben wurden für alle weiteren Analysen zusammengelegt (siehe dazu Tabelle 7).

Ebenfalls wurden die Ergebnisse zu einer Stichprobe zusammengezogen, welche Szenarien (S-Bahn fahren und E-Mail versenden) mit Kontrolle sowie ohne Kontrolle beschrieben. Dies sind die Stichproben 1.1 und 1.2. So konnte der Einfluss des technischen sowie des verkehrsbezogenen Szenarios kontrolliert werden.

Außerdem wurden die Stichproben zusammengenommen, die das Szenario „S-Bahn fahren“ mit sowie ohne Kontrolle beschrieben. Dies ist Stichprobe 2.1 und Stichprobe 2.2 ergibt sich analog für das Szenario „E-Mail versenden“ mit sowie ohne Kontrolle. So konnten die beiden Extreme des Kontrollerlebens analysiert werden und das beschriebene Szenario veränderte sich dabei nicht.

Tabelle 7: Beschreibung der zusammengelegter Stichproben einzelner Fragebögen

Stichprobe	zusammengelegte Stichproben	N
1.1	S-Bahn fahren und E-Mail versenden mit Kontrolle	452
1.2	S-Bahn fahren und E-Mail versenden ohne Kontrolle	452
2.1	S-Bahn fahren mit und ohne Kontrolle	452
2.2	E-Mail versenden mit und ohne Kontrolle	452

Zwischen den Items werden der Theorie von Hacker folgend Abhängigkeiten und Zusammenhänge erwartet, weswegen eine oblique Rotation (Promax) vorgenommen wurde. Die Items D2, D4, V2, V4, B5 sowie B8 wurden für die Analyse umcodiert, da sie negativ formuliert waren (siehe Tabelle 10).

Die Voraussetzungen der angemessenen Stichprobengröße, der ausreichenden Korrelationen zwischen den Items sowie der Sphärizität wurden getestet. Tabelle 8 zeigt, dass die Stichproben adäquat sind für eine Hauptkomponentenanalyse, da der Kaiser-Meyer-Olkin-Test durchgehend Werte über .920 aufweist und kein Wert auf der Diagonalen der Anti-Image Korrelationsmatrix unter .850 liegt. Der Bartlett-Test auf Sphärizität bestätigt durchgehend, dass ausreichend große Korrelationen zwischen den Items bestehen. Eine erste Hauptkomponentenanalyse ergab schließlich, dass drei bzw. vier Faktoren extrahiert und damit Varianz von bis zu 60% aufgeklärt werden kann. Nach dem Kriterium von Kaiser wurden sowohl Faktoren mit einem Eigenwert über 1 in Betracht gezogen als auch der Scree-Plot gesichtet, um zu dieser Anzahl an Faktoren zu gelangen.

Auf Grund von niedrigen Korrelationen zu den anderen Items und schwachen Kommunalitäten wurden Items D5 und B8 gestrichen. B4 weist niedrige Kommunalitäten auf und lädt bei verschiedenen Stichproben ausschließlich negativ auf unterschiedlichen Faktoren. Hier schien es deutlich Probleme mit dem Verständnis des Items zu geben, weswegen es ebenfalls gestrichen wurde. B6 weist schwache Korrelationen zu den anderen Items auf und lädt auf mehreren Faktoren,

Tabelle 8: Ergebnisse der Voraussetzungstests für die Hauptkomponentenanalyse mit obliquer Rotation

Stichprobe	KMO-Test	Anti-Image Korrelationsmatrix	Bartlett-Test auf Sphärizität	Anzahl extrahierter Faktoren	Varianzauflärung
1.1	.923	>.874	$\chi^2 (153) = 3355,06^{***}$	4	60,12%
1.2	.921	>.876	$\chi^2 (153) = 3434,32^{***}$	4	60,23%
2.1	.945	>.907	$\chi^2 (153) = 4000,88^{***}$	3	58,65%
2.2	.947	>.916	$\chi^2 (153) = 4963,25^{***}$	3	62,73%

*** $p < .001$

was eine Zuordnung schwierig macht. Es scheint nicht eindeutig zwischen den Subskalen zu trennen und misst eine Mischung aus Durchschaubarkeit und Beeinflussbarkeit. Auf Grund dieser Eigenschaften wurde das Item gestrichen. Aus dem gleichen Grund wurde B1 ausgeschlossen. V4 lädt auch entweder auf vier Faktoren schwach (Stichprobe 1.1) oder auf keinem (Stichprobe 1.2). Es scheint abhängig vom Szenario gut zu messen, aber nicht, wenn diese kontrolliert werden und nur der Grad der Kontrolle untersucht wird. Der Aussagekraft des Items konnte nicht vertraut werden, so dass es ausgeschlossen wurde. Das Item V5 wurde nicht ausgeschlossen, weil es gute Kommunalitäten und Korrelationen zu den anderen Items aufweist, auch wenn es auf anderen Faktoren (unter .4) mitlädt. Tabelle 10 zeigt die endgültigen Items in Fettdruck und die ausgelassenen Items in normalem Druck.

Eine anschließende Hauptkomponentenanalyse der verbleibenden zwölf Items ergab eine gute Verteilung auf die drei Faktoren, so dass diese nach der Theorie von Hacker mit Durchschaubarkeit (Faktor 1), Beeinflussbarkeit (Faktor 2) und Vorhersehbarkeit (Faktor 3) benannt werden können (siehe Tabelle 11).

Mit der resultierenden Skalenstruktur wurde eine Diskriminanzanalyse gerechnet, um zu untersuchen, ob die Items zwischen Szenarien mit und ohne Kontrolle unterscheiden können. Das Ergebnis der Analyse zeigte einen signifikanten Divergenz zwischen den beiden Gruppen ($\lambda = .673$, $\chi^2 (12) = 176,09$, $p < .001$) mit einer korrekten Klassifikation von 74,3%. Die Details zur Klassifikation sind in Tabelle 9 dargestellt.

2.2.3 Zusammenfassung

In einer Onlinefragebogenstudie wurde ein aus 18 Items bestehender Fragebogen zur Messung von Kontrollerleben getestet. Mit Hilfe der

Tabelle 9: Klassifizierungsergebnisse der Diskriminanzanalyse

	mit oder ohne Kontrolle	vorhergesagte Gruppenzugehörigkeit		Gesamt
		ohne Kontrolle	mit Kontrolle	
Anzahl	ohne Kontrolle	160	70	230
	mit Kontrolle	46	176	222
%	ohne Kontrolle	69,6	30,4	100,0
	mit Kontrolle	20,7	79,3	100,0

exploratorischen Faktorenanalyse und Reliabilitätsanalysen konnten sechs Items identifiziert werden, welche das Kontrollerleben unzuverlässig gemessen haben. Die Skalenstruktur wurde durch ein Streichen der Items entscheidend verbessert. Dies zeigte eine Hauptkomponentenanalyse mit den zwölf verbliebenen Items, welche eine stabile Faktorenstruktur sowie durchgehend hohe Reliabilitäten aufwies. Die Faktoren konnten nach Hacker (2005) mit Durchschaubarkeit, Vorhersehbarkeit und Beeinflussbarkeit benannt werden. Eine Diskriminanzanalyse mit den verbliebenen Items zeigte, dass ausreichend zwischen den beiden Extrema der Skala, nämlich Kontrolle und fehlende Kontrolle, unterschieden werden konnte.

Im Anschluss an diese Studie soll der Fragebogen bei einer Laborstudie an MWB getestet werden, welche von Automaten unterstützt werden. Darüber hinaus ist der Einsatz des Fragebogens im Kontext von Assistenzsystemen oder bei Benutzung von Automaten auch in vielen weiteren Studien weit über das ATEO-Projekt hinaus denkbar.

Tabelle 10: Items des Fragebogens „Kontrollerleben“

Items (Skala von trifft zu (1) bis trifft nicht zu (5))	
D1	Ich habe jederzeit das Gefühl gehabt, die Situation zu überblicken.
D2	Mir hat manchmal der Durchblick gefehlt.
D3	Ich habe ganz genau gewusst, was in der aktuellen Situation zu tun ist.
D4	Ich habe die Abläufe nicht vollständig durchschauen können.
D5	Es ist für mich ganz offensichtlich gewesen, wie die verschiedenen Faktoren in der Situation zusammenwirken.
V1	Ich habe ganz genau gewusst, was als nächstes passiert.
V2	Ich bin manchmal überrascht gewesen, wie sich die Situation entwickelt.
V3	Ich habe den Ablauf der Geschehnisse sehr gut vorhersehen können.
V4	Mir ist nicht ganz klar gewesen, wie es weiter gehen soll.
V5	Ich habe mir die zukünftigen Ereignisse gut vorstellen können.
B1	Ich habe das Gefühl gehabt, das Geschehen vollkommen zu beherrschen.
B2	Wenn ich mir etwas vorgenommen habe, so habe ich es jederzeit ohne Störung umsetzen können.
B3	Ich habe das Gefühl gehabt, meine Ziele direkt umsetzen zu können.
B4	Ich habe gedacht, die Dinge spielen verrückt.
B5	Ich habe mitunter das Gefühl gehabt, die Situation nicht völlig unter Kontrolle zu haben.
B6	Ich habe die Geschwindigkeit der Abläufe so bestimmen können, wie ich wollte.
B7	Ich habe die Situation immer voll im Griff gehabt.
B8	Manchmal war mir meine Handlungsmöglichkeiten beeinträchtigt erschienen.

Tabelle 11: Faktorladungen der finalen 12 Items nach der Hauptkomponentenanalyse mit obliquer Rotation (Stichprobe 2.1)

Item	Durch- schau- barkeit	Beein- flussbar- keit	Vorher- sehbar- keit
D1	.890	.004	-.014
D2	.860	.034	-.077
D3	.794	.003	.019
D4	.869	-.100	.018
V1	.181	.064	.631
V2	-.121	-.045	.823
V3	-.074	-.015	.864
V5	.293	-.022	.506
B2	-.192	.958	.032
B3	-.020	.878	.001
B5	.177	.702	-.030
B7	.327	.575	.025
Eigenwerte	5,773	1,206	1,024
% der aufgeklärten Va- rianz	48,11	10,05	8,53
Cronbachs Alpha	.866	.845	.748

DER ENTWICKLUNGSPROZESS VON AUTOMATIKEN - EINE LANGZEITSTUDIE

Zeit ist Geld. Ein klassische Beispiel hierfür ist das Handeln an der Börse. Menschen agieren unter hohem Zeitdruck und müssen schnell und ohne zu zögern Entscheidungen treffen (Kocher & Sutter, 2005). Hier kommt es mitunter auf wenige Sekunden an. Abnahmetermine werden am Ende oder bei wichtigen Zwischenschritten in jedem Projekt mit den Kunden vereinbart und erzeugen Zeitdruck. Maule, Hockey und Bdzola (2000) haben untersucht, welchen Effekt Zeitdruck auf das Treffen von Entscheidungen hat und konnten zeigen, dass Zeitdruck vor Abgabeterminen zu keiner erhöhten Risikobereitschaft führte, sondern zu energisch und bemühtem Arbeiten (siehe auch Svenson und Maule (1993)).

Großen Einfluss auf das Gelingen von Projekten hat ein gutes Zeitmanagement, welches nach Claessens, Roe und Rutte (2009) von *time assessment behaviors*, *planning behaviors* und *monitoring behaviors* sowie als vierte Dimension des Zeitmanagements von *executive behaviors* abhängt.

Folglich kommt es auf das Verhalten der Projektmitglieder an, wie vorhandene Zeit eingeteilt und geplant, wie mit Zeitdruck umgegangen wird.

Auch bei der Entwicklung von Softwareprodukten ist, neben Qualität (Güte des gelieferten Produktes), Umfang (Umsetzung aller Anforderungen und Ziele) und Kosten (Einhalten von geschätzten Kosten und Aufwand), Zeit (pünktliche Auslieferung des Produktes) ein entscheidendes Erfolgskriterium (Chow & Cao, 2007).

Zeit kann demnach als Ressource von Entwicklerteams verstanden werden. Steht dem Team ausreichend Zeit zur Verfügung, kann davon ausgegangen werden, dass die Qualität des Produktes gesteigert wird.

Dafür wird sie unter anderem in Mann-Monaten gemessen. Zu beachten ist, dass man ein Projekt nicht schneller beendet, indem man weitere Mitarbeiter einsetzt („adding manpower to a late software project makes it later“) (Brooks, 1995), da dies zusätzliche Anforderungen an die Kommunikation und die Koordination stellt. Neue Mitglieder eines Projektes benötigen eine gewisse Zeit sich einzuarbeiten. Dies ist bekannt geworden als Brooks' Gesetz.

Wie sich Zeit als Ressource von Entwicklerteams auf die Antizipationsleistung beim Konzipieren von Automaten im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion auswirkt, soll in diesem Kapitel näher beleuchtet werden. Dafür werden vorangegangene Studien von Cordula Krinner und Saskia Kain sowie ein Bewertungssystem für Automatenkonzepte beschrieben, welche zur Bewertung, zum Vergleich sowie zur Einordnung der Ergebnisse einer Langzeitstudie wichtig sind.

3.1 VORARBEITEN

Methode In einer Studie von Cordula Krinner (Krinner, 2008), in welcher die Ressource „Informationen über das zu unterstützende System“ untersucht wurde, konnten nur sehr geringe Unterschiede zwischen den Gruppen gefunden werden. Die folgende Studie mit einer Maximierung dieser Ressource und der Verbesserung der Qualität der Teams durch die Erhöhung der Teamgröße von zwei auf drei und eine interdisziplinäre Zusammensetzung von Psychologen, Informatikern und Designern führte dafür zu einer stärkeren Auseinandersetzung mit dem System und vielfältigeren Konzepten. Eine merkliche Verbesserung der Qualität der Konzepte konnte aber nicht festgestellt werden. Dies führte zu Überlegungen, die Qualität der Teams weiter zu steigern. Es wurden für die anschließende Studie Entwicklerteams aus der Forschung und Industrie gebeten, Konzepte für Automaten zu entwerfen, welche die Mikroweltbewohner in SAM anstelle eines Operators bestmöglich unterstützen sollten (siehe zukünftige Dissertation von Saskia Kain)¹. Untersucht wurde erneut der Einfluss verschiedener Informationsquellen auf die Antizipationsleistung der Entwickler sowie die Qualität und Anzahl der Automaten. In Tabelle 12 ist die unabhängige Variable „Informationsquellen“ in drei Abstufungen aufgeführt. Einer Stufe wurden jeweils zehn Entwicklerteams mit je drei Teammitgliedern zugeordnet.

Alle drei Gruppen hatten für die Konzeption der Automaten zehn Minuten Zeit, die Systembeschreibung von SAM zu lesen (Stufe 1). Für die Gruppe 2 und 3 wurden zusätzlich Informationen zu SAM und dem Steuerungsprozess gegeben (Stufe 2). Dafür durften die Entwickler selbst als Mikroweltbewohner fünf Minuten das Trackingobjekt die Strecke entlang führen, fünf Minuten ein Video schauen, in dem eine typische Fahrt dargestellt wurde sowie weitere fünf Minuten lang Mikroweltbewohner, welche durch die Versuchsleiterin repräsentiert wurden, befragen. Die dritte Gruppe verfügte über die meisten Informationsquellen (Stufe 3), da sie zusätzlich zu den Informationen, welche Gruppe 1 und 2 vorlagen, über den Operator und dessen Eingriffsmöglichkeiten durch das AMD informiert wurden. Sie konnten jeweils fünf Minuten als Operator agieren, ein Video sehen, in dem ein Operator agiert, einen Operator befragen und das Ergebnis einer hierarchischen Analyse der Aufgaben eines Operators studieren.

Nach der Vermittlung dieser Informationen zu SAM und dem AMD des Operators hatten die Entwickler unabhängig von der Versuchsbedingung genau zwei Stunden Zeit, Automatenkonzepte für SAM zu entwerfen.

Auswertungsmethode Für die qualitative Bewertung der Automatenkonzepte wurde eigens ein Bewertungssystem entwickelt, welches Punkte für wirkungsvolle und angemessen automatisierte Funktionen vergibt. Dieses Bewertungssystem orientiert sich an den vier Pha-

¹ Da die Arbeiten von Saskia Kain noch unveröffentlicht sind, wird im folgenden detaillierter auf die Vorarbeiten eingegangen

Tabelle 12: Stufen der unabhängigen Variable Informationsquellen

Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
Systembeschreibung von SAM	Systembeschreibung von SAM	Systembeschreibung von SAM
	Video der beiden MWB des Systems	Video der beiden MWB des Systems
	Selbstaussführung der Objektsteuerungsaufgabe	Selbstaussführung der Objektsteuerungsaufgabe
	fiktives Interview mit beiden MWB des Systems	Interview mit beiden MWB des Systems
		Bildschirmaufnahme der Eingriffe eines exemplarischen Operators am AMD
		Als Operator am AMD agieren
		fiktives Interview mit einem Operator
		Ergebnis einer hierarchischen Aufgabenanalyse

sen der menschlichen Informationsverarbeitung: Informationsakquise, Informationsanalyse, Entscheidungsfindung und Handlungsausführung (Rasmussen, 1986) sowie am empfohlenen Grad der Automation, wie es Parasuraman et al. (2000) vorschlagen. In SAM gibt es verschiedene Situationen, in denen man unterstützend eingreifen kann. Diese sind in die Kategorien Hindernisse, Gabelungen, Kurven und gerade Streckenabschnitte eingeteilt oder umfassen die gesamte Strecke:

- gesamte Strecke
- gerade Strecke
- Gabelung
- Hindernis allgemein
- statische Hindernisse allgemein
- statische Hindernisse mit 25% Streckenabdeckung
- statische Hindernisse mit 50% Streckenabdeckung

- dynamisches Hindernis
- starke Kurven

Automatiken können sowohl allgemein für das Vorkommen von Hindernissen oder die gesamte Strecke als auch für spezielle Arten von Hindernissen konzipiert werden. „Hindernis allgemein“ fasst „statische Hindernisse mit 25% und 50% Streckenabdeckung“ sowie „dynamische Hindernisse“ zusammen, „statische Hindernisse allgemein“ die beiden Varianten für statische Hindernisse. Der schwankende Detailgrad der Automatikkonzepte kann so berücksichtigt und bewertet werden. Durch das Bewertungssystem kann jeweils ein Punkt vergeben werden, wenn man die Geschwindigkeit des Fahrobjektes in den einzelnen Situationen, oder sechs Punkte, wenn man es unspezifisch für die gesamte Strecke erfasst. Werden alle einzelnen Situationen berücksichtigt, bekommt das Konzept sechs Punkte. Ein Beispiel, welches in sehr vielen Konzepten vorkommt, ist die Analyse der Streckenmerkmale. Wenn man dies allgemein für die gesamte Strecke definiert, dann bekommt man jeweils sechs Punkte, wenn die Objektposition, die allgemeine Objektgeschwindigkeit und die allgemeinen Joystickeingaben der MWB durch die Automatik bestimmt wird. Wenn man dagegen sowohl die vertikale als auch die horizontale Objektgeschwindigkeit für das Konzept automatisiert ermittelt, werden zwölf anstelle sechs Punkte vergeben. Der Detailgrad der Konzepte ist ein weiteres entscheidendes Gütekriterium.

Weitere Punkte bei der automatisierten Informationsakquise werden sowohl für die Positionsbestimmung als auch für die Berechnung des Abstandes zu Kurven, Gabelungen, Hindernisse vergeben, wobei mehr Punkte vergeben werden, wenn zwischen den einzelnen unterschiedlichen Arten von Hindernissen, Gabelungen und Kurven unterschieden wird. Konzepte, welche den MWB ihr Fahrverhalten zurückmelden, bekommen viele Punkte für die Ermittlung von Ist-Eingaben und den optimalen Soll-Vorgaben der Joystickbewegungen sowie der Anzeige dieser Werte. Die Eingriffe in die Steuerung werden für die Bewertung detailliert aufgeteilt, so dass unterschiedliche Punkte vergeben werden, wenn adaptiv angepasst am Fahrverhalten bis zu 100% oder immer fix zu 100% eingegriffen wird. Letzteres gibt weniger Punkte. Parasuraman et al. (2000) schlagen für jede dieser vier Handlungsphasen einen eigenen Grad der Automation vor, welcher als eine Grundlage für die Vergabe der Punkte herangezogen wurde.

Die hier aufgezählten möglichen Arten von Unterstützungsformen sind lediglich eine Auswahl derer, die vom Bewertungssystem abgedeckt werden.

Alle Konzepte der Studie mit berufserfahrenen Entwicklern aus der Forschung und Industrie wurden mit diesem Bewertungssystem von Saskia Kain sowie die Konzepte der dritten Stufe der unabhängigen Variable „Informationsquellen“ vom Autor mit Hilfe einer studentischen Hilfskraft und Verwendung des Vier-Augen-Prinzips bewertet. So sollte die Qualität der Bewertung gesteigert werden, da weniger

Anhaltspunkte in den Konzepten für Bewertungspunkte übersehen werden konnten. Als Grundlage der Bewertung wurde die Beschreibung der Automaten herangezogen, die von den Entwicklern nach der Konzeptphase verfasst wurde. Die Konzepte der dritten Stufe wurden deswegen ausgesucht, weil in der später beschriebenen Studie diese Informationen im Verlauf der Studie vermittelt wurden. Ein späterer Vergleich der Ergebnisse wird mit dieser Gruppe von Konzepten geschehen (siehe Kapitel 4).

Eine Interrater-Reliabilität mit Cohen's Kappa wurde berechnet und fällt mit $M = .40$ ($SD = .06$) niedrig aus, so dass nach Landis und Koch (1977) lediglich von einer ausreichenden Übereinstimmung gesprochen werden kann. Wenn nur untersucht wird, ob Punkte vergeben wurden oder nicht und die genaue Punktezahl nicht in die Berechnung der Interrater-Reliabilität einfließt, indem Punkte mit 1 kodiert und keine Punkte weiterhin mit 0 angegeben werden, erhöht sich Cohens Kappa[0,1] nur geringfügig auf $M = .41$ ($SD = .05$).

Ergebnisse Tabelle 13 zeigt für alle Teams² die Bewertung von Saskia Kain und vom Autor. Die vom Autor vergebenen Punkte liegen zwischen 236,35 und 233,73 für Team 1 und Team 10 und 56,86 für Team 4. Die vergebenen Bewertungspunkte je Team werden anschaulicher in Abbildung 13 dargestellt.

Bei den Bewertungspunkten der Konzepte ergibt sich kein signifikanter Unterschied ($p > .05$ $r = .13$) zwischen den von Saskia Kain vergebenen Punkten ($M = 125,73$; $SD = 31,76$) und denen vom Autor ($M = 138,04$; $SD = 52,89$) $t(18) = -.571$.

Tabelle 13: Bewertungspunkte für die Automatikkonzepte der Stufe 3

Team	Bewertung Saskia Kain	Bewertung Nicolas Niestroj	Cohen's Kappa	Cohen's Kappa [0,1]
1 (37)	177,77	236,35	.43	.43
2 (38)	117,33	151,5	.40	.39
3 (40)	110,06	145,07	.33	.33
4 (41)	98,507	56,86	.28	.32
5 (42)	115,52	116,61	.44	.44
6 (43)	110	92	.51	.51
7 (44)	105,16	114,08	.43	.45
8 (45)	132,33	140,58	.40	.40
9 (46)	91,737	93,62	.39	.39
10 (47)	198,91	233,73	.41	.42
M	125,732	138,04	.40	.41
SD	31,758	52,893	.06	.05

² In Klammern die von Saskia Kain verwendeten Teambezeichnungen

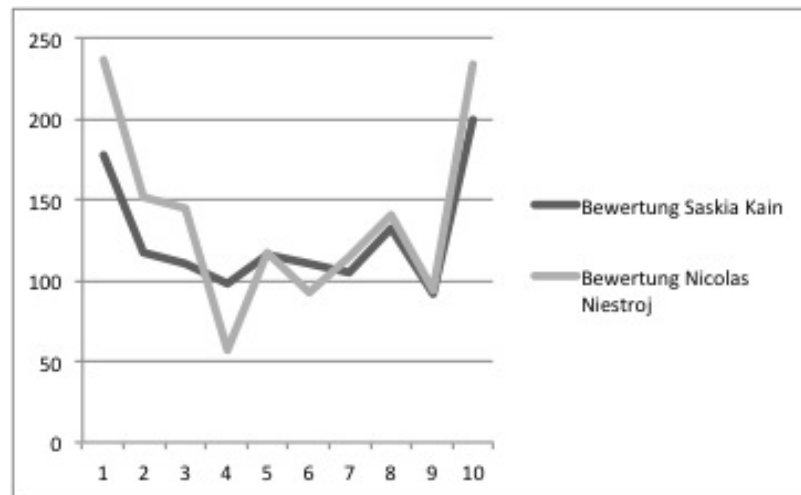


Abbildung 13: Bewertungspunkte für die Automatikkonzepte 1-10

Diskussion Dieses Ergebnis zeigt, dass trotz einer langen Einarbeitungsphase durch den Autor und den Versuch, die Bewertung an die von Saskia Kain anzugleichen, immer noch viele Abweichungen auftreten. Dies liegt sowohl an der hohen Komplexität des Bewertungssystems mit über 2000 Items als auch zum großen Teil an den Konzeptbeschreibungen, welche lückenhaft sind und stichwortartig aufgeschrieben wurden. So müssen alle Konzepte interpretiert werden und eine eindeutige Zuordnung der Funktionen zu den Zellen des Bewertungssystems (Kombination aus Situation und Handlungsphase) ist nicht möglich. Mit der Zeit entwickelten die Beurteiler Routine und konnten bestimmte Funktionen automatisch zuzuordnen, aber alle Funktionen ähneln sich nur und sind nicht identisch. Das Bewertungssystem wurde nicht so entwickelt, dass es nur auf die Konzepte der professionellen Entwickler passt, sondern berücksichtigt weitaus mehr Möglichkeiten der Automation als letztendlich von den Entwicklern antizipiert wurden. Eine stärkere Anpassung des Bewertungssystems an die Konzepte hätte zwar eine wesentlich leichtere Zuordnung der Punkte zur Folge, aber die Anwendbarkeit über die Bewertung dieser Konzepte hinaus wäre stark eingeschränkt.

Der Autor ist großzügig bei der Bewertung vorgegangen und hat im Zweifel Punkte vergeben, wo bestimmte Funktionen lediglich angedeutet oder implizit vorhanden waren. So zum Beispiel wurden einem Konzept Punkte zugesprochen, wenn die Joystickausrückungen verbal nicht erfasst wurden, obwohl diese in einer Anzeige dargestellt werden sollten. Hier wurden Lücken im Konzept durch den Autor geschlossen und anschließend bewertet. Genauso ging Saskia Kain bei der Bewertung vor. Außerdem könnte angenommen werden, dass der Hintergrund des Autors als Diplominformatiker und die Betreuung von Diplomstudenten während der Implementierung der Konzepte unbewusst dazu geführt hat, dass mehr Informationen aus den Konzepten herausgelesen wurden als durch die Versuchsleiterin Saskia Kain oder die Informationslücken anders gefüllt wurden.

Das Hauptproblem beim detaillierten Vergleich der Bewertungen scheint aber die Zuordnung von Funktionen zu Situationen zu sein.

So wurden zwar oft gleich viele Punkte vergeben, aber unterschiedlichen Zellen im Bewertungssystem zugeordnet. Bei einer Interrater-Reliabilitätsprüfung mit Cohen's Kappa ist dies keine Übereinstimmung und führt so zu einem niedrigen Übereinstimmungskoeffizienten.

Für den Vergleich der Konzepte mit denen einer Folgestudie des Autors hat das aber keinen Einfluss, da alle Konzepte, sowohl die der professionellen Entwickler als auch die der Studenten aus der Folgestudie, vom Autor selbst bewertet wurden. Allein die Bewertung durch den Autor soll dann in der Auswertung für den Vergleich eine Rolle spielen. So kann die Varianz in der Bewertung besser kontrolliert werden. Als Fazit lässt sich festhalten, dass das Bewertungssystem eingesetzt und für die folgende Studie und die Ermittlung der Qualität der Konzepte genutzt werden konnte.

3.2 DIE LANGZEITSTUDIE

3.2.1 *Einleitung*

Fragestellung Die Ressource „Zeit“ ist ein wichtiger Einflussfaktor auf den Erfolg und die Qualität von Produkten. Zu wenig Zeit führt oft zu niedriger Qualität, wogegen zu viel Zeit ebenfalls negative Effekte haben kann. Die Mitarbeiter eines Projektes mit zu viel eingeplanter Zeit suchen neue Aufgaben, um diese zusätzliche Zeit zu nutzen, so dass das eigentliche Projekt unter anderem durch mangelnde Konzentration, wiederkehrenden Einarbeitungsaufwand und niedere persönliche Priorisierung qualitativ leidet. In dieser Studie sollte untersucht werden, wie sich die Ressource Zeit auf die Antizipationsfähigkeit von Entwicklern auswirkt und welche eine für diese Aufgabe möglichst optimale Ausprägung dieser Ressource ist. Außerdem sollte der Frage nachgegangen werden, welchen Unterschied es zwischen Studenten und professionellen Entwicklern aus der Forschung und Industrie hinsichtlich der Antizipationsleistung bei der Entwicklung von Automatikkonzepten gibt. Genauer steht hierbei die Frage im Vordergrund, welche Rolle die berufliche Erfahrung spielt.

Hypothesen In der Studie von Saskia Kain zeigte sich, dass vor allem der Detailgrad von Konzept zu Konzept schwankte und dass einige Automaten für die Implementierung ungeeignet waren. So mussten diese im Projektverlauf weiterentwickelt, verändert, konfiguriert oder, wenn dies nicht möglich war, ausgelassen werden. Den professionellen Entwicklern der Studie war bewusst, dass sie im Anschluss an die Entwurfsphase keine Implementierung vornehmen mussten. Dies hatte zur Folge, dass freier und unbedarfter konzipiert wurde. Die wenige zur Verfügung stehende Zeit führte dazu, dass Funktionen entworfen und nicht verworfen wurden, welche für den Einsatz in SAM und die spätere Umsetzung in Smalltalk ungeeignet oder nicht die vermutete Wirkung zeigten und damit überflüssig waren.

Folgende Hypothesen sollen im Rahmen der Studie geprüft werden:

H1 Mehr Zeit in der Konzeptphase hat einen positiven Effekt auf die Qualität (Punktwert der Bewertung) der Automatikkonzepte.

Im Vergleich zu den Studien von Cordula Krinner mit Studenten und zu Saskia Kain mit professionellen Entwicklern aus Forschung und Industrie wurde angenommen, dass mehr Zeit zu einer eindeutigen und detaillierten Beschreibung der Automatikkonzepte führte. Diese zusätzliche Zeit sollte sinnvoll gefüllt werden. So konnten sie intensiver über verschiedene Möglichkeiten der Unterstützung nachdenken und diskutieren, die besten Ideen in das Konzept aufnehmen und somit die Konzepte iterativ überarbeiten und verfeinern. Das Wissen der Versuchspersonen, diese Konzepte nach der Entwurfsphase weiter implementieren und testen zu müssen, könnte zu einer eingehenden Beschäftigung mit den Konzepten führen und die Konfiguration von Parametern bereits vorgenommen oder für eine Testphase eingeplant werden. Diese erwarteten zusätzlichen Schritte würden zu einer erhöhten Qualität im Vergleich zu den Konzepten von Saskia Kain führen.

H2 Die Implementierungs- und Testphase wirkt sich positiv auf die Qualität der Automatikkonzepte aus.

Die Implementierungs- und Testphase produziert Prototypen und am Ende einsetzbare Automaten, mit deren Hilfe die Konzepte weiter geschärft sowie möglicherweise überflüssige Automaten oder Automaten ohne große Wirkung gestrichen werden können. Dies führt zu einer weiteren Erhöhung der Qualität vor allem durch die Testphase.

3.2.2 Methodik

Versuchsdesign In dieser Studie sollte der Einfluss der Ressource Zeit auf die Antizipationsleistung von Entwicklern, operationalisiert durch die Qualität von Automatikkonzepten, untersucht werden. Dabei sollten keine professionellen Entwickler aus der Forschung und Industrie akquiriert, sondern im Rahmen eines Seminars an der Humboldt-Universität zu Berlin mit Studenten des Diplomstudienganges Informatik gearbeitet werden. Seminare boten die Möglichkeit, über einen definierten Zeitraum Studenten eine Aufgabe zur Bearbeitung zu geben, im Rahmen so genannter Projektseminare. Dafür wurden sie mit drei Studienpunkten entlohnt und, um den Anreiz zu guten Leistungen weiter zu steigern, wurde das beste Konzept während einer festlichen Zeremonie mit Amazon-Gutscheinen belohnt. Zu zwei Zeitpunkten, nämlich nach der Konzeptphase und am Ende des Seminars, sollte die Qualität der Konzepte gemessen werden. Dafür gaben die Studenten ein schriftlich ausgearbeitetes Pflichtenheft ab, welches die konzipierten Automaten im Detail beschrieb. Bei der Erstellung

des Pflichtenheftes wurde darauf geachtet, dass die gleichen Informationen gefordert wurden, wie bereits von den Entwicklern aus der Studie von Saskia Kain. Dadurch wurde die Vergleichbarkeit der Konzepte gewährleistet sowie die anschließende Bewertung erleichtert. Die Versuchspersonen bekamen die maximale Anzahl von Informationsquellen wie in der Stufe 3 der Vorgängerstudie. Der Entwicklungsprozess wurde um die Implementations- und Testphase erweitert. Es sollte untersucht werden, welchen Einfluss dies auf die Qualität der Konzepte und die Automaten hat. In der Studie selbst wurden keine unabhängigen Variablen variiert, sondern der Vergleich zu den Studien von Cordula Krinner und Saskia Kain beinhaltet die Variation.

Versuchsteilnehmer Das Seminar „Mensch Technik Interaktion in Echtzeit“ wurde im Wintersemester 2010/2011 in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Softwaretechnik von Prof. Dr. Klaus Bothe für Studenten im Hauptstudium des Diplomstudiengangs Informatik angeboten. Es meldeten sich sieben Studenten an. Die Stichprobe wurde durch neun weitere Studenten (drei Teams) in der Veranstaltung im Wintersemester 2011/2012 erhöht. Durch die Bologna-Reform an der Humboldt-Universität zu Berlin und dem Auslaufen des Diplomstudienganges wurde ein drittes und letztes Mal die Veranstaltung im Bachelorstudiengang als Studienprojekt angeboten, welches vergleichbare Bedingungen wie ein Projektseminar im Diplomstudiengang bot, aber mit einem höheren Umfang von zwölf Studienpunkten. Hier meldeten sich elf Studenten an, welche in vier Teams eingeteilt wurden. Es ergab sich eine Gesamtstichprobe aus 27 Studenten bzw. zehn Teams.

An die Studenten wurde ein Onlinefragebogen zum Erfassen der demographischen Daten verteilt. Die Rücklaufquote betrug 74% (20 von 27 Studenten). Alle Teilnehmer des Seminars studierten oder studieren Informatik an der Humboldt-Universität zu Berlin (16 für den Abschluss Diplominformatiker und 11 Bachelorstudenten). 26 Studenten waren männlich, eine weiblich. Das Durchschnittsalter der 23 Studenten lag bei $M = 25,30$ Jahren ($SD = 2,87$) und die durchschnittliche Semesterzahl bei $M = 9,5$ ($SD = 5,32$). 13 der Studenten gaben an, bereits als Werkstudent oder studentische Hilfskraft als Entwickler von Softwaresystemen tätig gewesen zu sein. Dabei ist eine Tätigkeit im professionellen Kontext gemeint, welche über die Erfahrungen aus dem Studium durch die Bewältigung von kleinen Programmierübungen und -projekten hinaus geht. Die durchschnittliche Beschäftigungsdauer in Monaten lag bei $M = 22,72$ ($SD = 29,44$). Sieben Studenten waren vor dem Seminar nicht in Entwicklungsprojekten tätig. Zusätzlich zu den demographischen Daten wurde eine Frage gestellt, welche sich auf die Erfahrung in der Entwicklung von ATEO-typischen komplexen dynamischen Systemen bezieht (dynamische (Frage 1), komplexe (Frage 2), oder komplexe und dynamische Systeme (Frage 3)). Auf einer fünfstufigen Likert-Skala (1 = keine 2 = wenig 3 = durchschnittlich 4 = viel 5 = sehr viel) antworteten die Stu-

denen durchschnittlich mit wenig bis keine Expertise. Aus Tabelle 14 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen ersichtlich.

Tabelle 14: Erfahrung der Studenten in der Entwicklung

Frage (1 = keine 2 = wenig 3 = durchschnittlich 4 = viel 5 = sehr viel)	M	SD
Bitte klicken Sie an, wie viel Erfahrung Sie mit der Entwicklung von Assistenzsystemen oder Automaten zur Prozessführung und -überwachung von dynamischen Systemen haben.	1,56	0,59
Bitte klicken Sie an, wie viel Erfahrung Sie mit der Entwicklung von Assistenzsystemen oder Automaten zur Prozessführung und -überwachung von komplexen Systemen haben.	1,44	0,68
Bitte klicken Sie an, wie viel Erfahrung Sie mit der Entwicklung von Assistenzsystemen oder Automaten zur Prozessführung und -überwachung von komplexen, dynamischen Systemen haben.	1,28	0,56

Versuchsdurchführung Während des Seminars wurden den Studenten drei Aufgaben gestellt. Für die erste Aufgabe sollten sich die Studenten mit der Tracking-, Manöver- und Navigationssimulation SAM auseinander setzen. Dafür sollten sie mit zur Verfügung gestellten Joysticks die für Laborstudien vorgesehenen elf Fahrten bewältigen und so ein Gefühl entwickeln, welche Formen der Unterstützung für die Mikroweltbewohner sinnvoll sind. Zusätzlich sollten sie die Systembeschreibung studieren. Sie hatten für die Bearbeitung dieser Aufgabe eine Woche Zeit. Als Ergebnis der Aufgabe hielten die Studenten fest, was ihnen an SAM negativ und positiv aufgefallen war. Die zweite Aufgabe umfasste die Konzepterstellung für die Automaten, wobei sich im Gegensatz zur Studie von Saskia Kain nur auf die Situation der Gabelungen konzentriert werden sollte. Diese Einschränkung wurde vorgenommen, weil davon ausgegangen wurde, dass die im Seminar zur Verfügung stehende Zeit für die Konzeption, aber vor allem für die Implementation von Automaten, welche auf der gesamten Strecke wirken können, nicht ausreichen könnte. Insbesondere die komplexe Situation von Hindernissen wurde ausgeschlossen. Die Studenten hatten dafür drei Wochen Zeit, was bei 90 Stunden durch die Studienordnung geforderten Gesamtzeit für ein Seminar mit drei Studienpunkten ungefähr 21 Stunden investierte Zeit für die Konzeption bedeutet. Während dieser Zeit sollten die Studenten ein Sitzungsprotokoll führen, wenn sie sich in der Gruppe getroffen haben. So sollte sowohl ein Eindruck von der investierten Zeit durch die Sitzungsdauer als auch über diskutierte Probleme oder verworfene Automaten gewonnen werden. Die Vorlage für ein Sitzungsprotokoll findet sich in Abschnitt B.2. Der erste Messzeitpunkt für die

Analyse der Konzepte war der Abgabetermin der Konzepte durch die Studenten. Im Anschluss folgte für den Rest des Seminars mit der Aufgabe 3 das Design und die Implementation der Automaten in Smalltalk sowie der Modultest mit SUnit³. Am Ende der neunwöchigen Entwicklungszeit wurden die Automaten von den Studenten präsentiert. Dies war der zweite Messzeitpunkt für die Analyse der Konzepte. Eine Besonderheit des Bachelorprojektes im Vergleich zu einem Seminar im Diplomstudiengang Informatik ist die höhere Anzahl an Studienpunkten, die die Studenten für diese Veranstaltung bekommen. Um diesem erhöhten Anforderungen der Studienordnung gerecht zu werden, wurde für die Bachelorstudenten eine vierte optionale Aufgabe gestellt. Für diejenigen Studenten, welche Aufgabe 3 nach den angesetzten sechs Wochen frühzeitig beendet haben, wurde die Aufgabe gestellt, das Automatenkonzept auf die gesamte Strecke auszuweiten und weitere Automaten bspw. für Situationen mit Hindernissen zu entwerfen. Alternativ konnten die Studenten an ihrem Konzept für Gabelungen weiter arbeiten. Dies wurde nötig, da die Konzepte unterschiedlich viele Automatenfunktionen vorsahen und auch die Komplexität variieren konnte. Dies zeigt sich auch in der Bewertung der Konzepte.

Die genaue Aufgabenbeschreibung findet sich in Abschnitt B.1 und eine Übersicht in Tabelle 15.

Tabelle 15: Aufgaben für die Studenten

Aufgabe	Titel	Bearbeitungszeit
1	Kennenlernen von SAM	1 Woche
2	Konzeption von Automaten	3 Wochen
3	Design, Implementation und Test von Automaten	6-9 Wochen
4	Erweiterung des Konzeptes auf die gesamte Strecke (nur Bachelor)	7 Wochen

Zusätzlich zur Aufgabe 1, welche die Stufen 1 und 2 der unabhängigen Variable 'Informationsquellen' (Systembeschreibung, Video und Selbstaufführung von SAM) umfasste, erhielten die Studenten im Seminar von verschiedenen Professoren und Dozenten weitere Informationen. Es wurde 90 Minuten lang eine Einführung in die Themen Automation und Assistenzsysteme gegeben. In der Studie von Saskia Kain wurden die Entwicklerteams unter anderen deswegen ausgewählt, weil sie mit den Themen Mensch-Technik-Interaktion, Assistenzsysteme und Automation Erfahrung haben und diese Themen in ihrem Berufsalltag relevant sind. Diese Erfahrung kann durch einen Vortrag nicht ausgeglichen, aber Grundlagen konnten so vermittelt werden. Um weiteres Wissen zu SAM und dem AMD des Operators zu vermitteln, wurde auf diesem Gebiet ein 45 minütiger Vortrag gehalten. Zusätzlich zu den Vorträgen gab es über die Seminarwebsite

³ SUnit ist ein Framework, welches einzelne Funktionen eines Programmes automatisiert testbar macht.

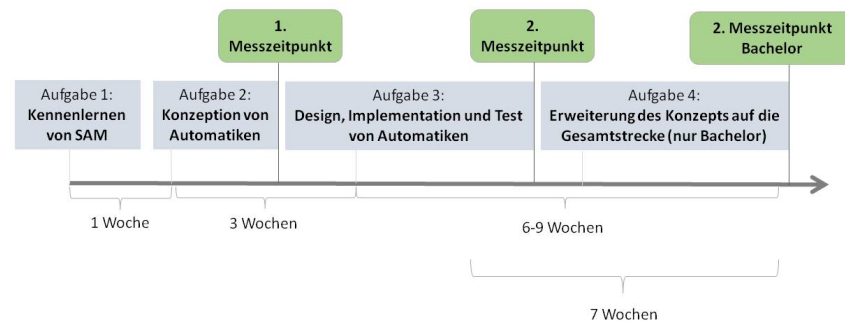


Abbildung 14: Ablauf des Seminars mit den Messzeitpunkten

Videos, welche typische Situation in SAM zeigten, zum Download. So wurden alle Informationsquellen der Stufe 3 abgedeckt. Der letzte Vortrag zur Vorbereitung auf die zweite Aufgabe (Konzeption der Automaten) hatte die Erstellung von Pflichtenheften und das Ermitteln von Anforderungen zum Thema. Dieser Vortrag sollte die Studenten auf das schriftliche Festhalten der Konzepte vorbereiten und fehlendes Wissen aus dem Fachgebiet Software Engineering ausgleichen. Tabelle 16 zeigt die Themen der Vorträge im Überblick.

Tabelle 16: Vermittlung von Informationen zur Konzeption von Automaten

Titel	Dozent	Dauer des Vortrags
Einführung in Automation und Assistenzsysteme	Professor (Psychologie)	90 Minuten
Einführung in das ATEO Projekt, Vorstellung von SAM und AMD	Dozent (Psychologie)	45 Minuten
Einführung in die Spezifikation von Software-Systemen	Professor (Informatik)	45 Minuten

Für die Aufgabe 3 wurden die Studenten umfassend in der Programmierumgebung Squeak, der objektorientierte Programmiersprache Smalltalk, und dem Testwerkzeug SUnit sowie den Tools, welche von Diplomanden des Projektes eigens für SAM und die Entwicklung von Automaten für Squeak und in Smalltalk programmiert wurden, geschult. Die Vorträge wurden dabei entweder vom Autor selbst oder von Diplomanden, welche die Tools zu dem Zeitpunkt aktiv genutzt oder entwickelt haben, gehalten. Der Vortrag zu Unit- und Integrationstests mit SUnit wurde von einem wissenschaftlichen Mitarbeiter des Lehrstuhls von Prof. Bothe übernommen. Eine Übersicht der Vorträge zeigt Tabelle 17.

Tabelle 17: Vermittlung von Informationen zur Implementation und zum Test von Automaten

Titel	Dozent	Dauer des Vortrags
Einführung in Squeak, Smalltalk und die Entwicklungstools von ATEO	Diplomanden des ATEO Projektes	90 Minuten
Einführung in die Programmierung und Konfiguration von Automaten	Diplomanden des ATEO Projektes	90 Minuten
Einführung in Unit und Integrationstests sowie in das Testframework von ATEO	Dozent (Informatik)	90 Minuten

3.2.3 Ergebnisse

Als Ergebnis liegen zehn Konzepte in schriftlicher Form vor, neun davon sind implementiert und im vollen Funktionsumfang einsetzbar. Gruppe 2 schied nach Beendigung der Konzeptphase frühzeitig aus dem Seminar aus. Die Punkte wurden vom Messzeitpunkt t_1 für t_2 übernommen und in Tabelle 19 mit einem * markiert. Um die beiden Gruppen der professionellen Entwickler und der studentischen Entwickler qualitativ vergleichen zu können, wurden diejenigen Automaten bewertet, welche in den Konzepten der professionellen Entwickler direkt für Gabelungen konzipiert wurden oder in Gabelungen genauso eingesetzt werden konnten wie auf anderen Streckenteilen. Beispiele für solche Funktionen waren korrigierende Eingriffe in die Steuerung, wenn das Fahrobject die Strecke verließ. Dadurch wurden vor allem Automaten, welche sich speziell mit statischen und dynamischen Hindernissen beschäftigten, von der Bewertung ausgeschlossen. Tabelle 18 zeigt die Punkte, welche bei der Bewertung durch den Autor für die einzelnen Konzepte insgesamt bzw. nur für die Gabelungsautomaten vergeben wurden. Es wurden nur die Bewertungen des Autors für den Vergleich hinzugezogen, weil eine Bewertung der in der Langzeitstudie entstandenen Konzepte ebenfalls nach dem gleichen Vorgehen vorgenommen wurde. Die Bewertung der Gabelungsautomaten im weitesten Sinn wurde aus der Gesamtbewertung extrahiert, indem Punkte für Teilautomaten im Konzept, welche sich nicht auf Gabelungen anwenden lassen, abgezogen wurden. Die neue Punktzahl ist also eine Teilmenge der Gesamtbewertung. Die Anzahl der Automaten steht in der letzten Spalte der Tabelle.

Tabelle 19 gibt einen Überblick über die Bewertung der Konzepte der Studenten zu beiden Messzeitpunkten t_1 (nach der Konzeptphase) und t_2 (nach der Implementations- und Testphase) sowie über die Anzahl der konzipierten Automaten zu beiden Zeitpunkten.

Tabelle 18: Bewertungspunkte für die Automatikkonzepte der professionellen Entwickler

Team	Gesamtpunkte	Punkte für Gabelungsautomatiken	Anzahl Gabelungsautomatiken	Punkte pro Gabelungsautomatik
1	236,35	97,45	6	16,24
2	151,5	128,25	9	14,25
3	145,07	98,91	9	10,99
4	56,86	28,08	4	7,02
5	116,61	62,50	5	12,5
6	92	61	6	10,17
7	114,08	61,50	4	15,38
8	140,58	62,67	6	10,45
9	93,62	60,31	4	15,08
10	233,73	105,75	6	17,63

Tabelle 19: Bewertungspunkte für die Automatikkonzepte der studentischen Entwickler

Team	Punkte t1	Anzahl Automaten t1	Punkte t2	Anzahl Automaten t2
1	119,684	6	95,684	5
2	47,28	5	47,28*	5*
3	49,367	4	45,61	4
4	45	3	45	3
5	50,45	4	50,45	4
6	52,52	3	49,52	3
7	107,824	9	107,824	9
8	70,9	4	76,9	4
9	45,124	8	57,454	11
10	29,37	4	71,37	4

Bevor professionelle und studentische Entwickler miteinander verglichen werden, soll zur Kontrolle getestet werden, ob sich Diplom- von Bachelorstudenten in der Qualität der Konzepte unterscheiden.

Die Voraussetzung der Normalverteilung war für den Vergleich der Teilgruppen der Diplomstudenten ($N = 6$ Teams) und der Bachelorstudenten ($N = 4$ Teams) im ersten Messzeitpunkt t_1 verletzt, für den zweiten Messzeitpunkt t_2 nicht. Dies wurde mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test überprüft. Die Varianzhomogenität wurde mit Hilfe des Levene-Tests geprüft und die Voraussetzung war erfüllt. Die Verletzung der Normalverteilung ist nach neueren Erkenntnissen (Bortz, 2005; Kubinger, Rasch & Moder, 2009) kein Argument für die Ver-

wendung eines nonparametrischen Verfahrens, die geringe Stichprobe musste aber bei der Interpretation der Ergebnisse mit berücksichtigt werden. Aus diesen Gründen wurde ein T-Test für unabhängige Stichproben gerechnet.

Tabelle 20: Vergleich der Qualität der Automaten zwischen Diplom- und Bachelorstudenten zu den Messzeitpunkten t1 und t2

	Diplomstudenten	Bachelorstudenten	t-Wert
Qualität der Automaten t1	M = 60.72, SD = 29.00	M = 63.30, SD = 34.26	.129
Qualität der Automaten t2	M = 55.59, SD = 19.76	M = 78.39, SD = 21.26	1.737

Die Qualität der Automatikkonzepte unterschied sich nicht zwischen Diplom- und Bachelorstudenten (siehe Tabelle 20), so dass sie als eine Stichprobe gesehen werden können.

Beim Vergleich dieser Gesamtstichprobe studentischer Entwickler ergab sich zwischen den beiden Messzeitpunkten t1 (M = 61.75, SD = 29.33) und t2 (M = 67.74, SD = 23.16) kein signifikanter Unterschied $t(9) = -.909$ (zweiseitig), $p = .387$.

Im Vergleich professioneller (N = 10 Teams) und studentischer Entwickler (N = 10 Teams) waren beide Gruppen nicht normalverteilt, aber die Varianzen homogen. Es wurde ein T-Test für unabhängige Stichproben gerechnet.

Tabelle 21 zeigt die Ergebnisse dieses Vergleichs in Bezug auf die Qualität und Quantität von Automaten. Hier sind die Ergebnisse ebenfalls nicht signifikant.

Tabelle 21: Vergleich der Qualität und Anzahl der Automaten zwischen professionellen und studentischen Entwicklern

	professionelle Entwickler (N=10)	studentische Entwickler (N=10)	t-Wert
Qualität der Automaten	M = 76.64, SD = 29.69	M = 61.75, SD = 29.33	1.128
Quantität der Automaten	M = 5.9, SD = 1.85	M = 5.0, SD = 2.05	1.029

Tabelle 22 zeigt die Anzahl der Teamsitzungen, welche die studentischen Entwicklerteams (N = 10) in den drei Wochen der Konzeptionsphase benötigten. Im Schnitt trafen sich die Studenten dreimal (M = 2,60; SD = 0,66) für ein wenig mehr als sechs Stunden Gesamtzeit (M = 363,89 min; SD = 161,31).

Tabelle 22: Anzahl und Länge der Teamsitzungen

Team	Anzahl der Teamsitzungen	Gesamtzeit [min]
1	3	540
2	3	350
3	2	240
4	2	150
5	2	360
6	2	480
7	2	165
8	3	330
9	3	660
10	4	keine Angabe

3.2.4 Diskussion

Um zu untersuchen, welchen Einfluss Zeit auf die Antizipationsleistung von Entwicklern komplexer dynamischer Systeme im Kontext der Mensch-Maschine-Interaktion hat, wurde Informatikstudenten im Rahmen von Seminaren und einem Bachelorprojekt die Aufgabe gestellt, Automaten zur Unterstützung der Mikroweltbewohner in SAM zu konzipieren, zu implementieren und zu testen. Die Konzepte wurden nach der Konzeptphase (t_1) und nach dem Ablauf des Seminars (t_2), nachdem die Konzepte implementiert und getestet worden waren, bewertet und mit der Leistung von professionellen Entwicklern aus der Industrie und Forschung verglichen.

Bei diesem Vergleich zeigte sich, dass kein signifikanter Unterschied in Qualität und Anzahl der Automaten besteht. Der Unterschied in der Qualität der Automaten von Zeitpunkt t_1 zu t_2 ist ebenfalls nicht signifikant. Damit können die Hypothesen H_1 und H_2 nicht bestätigt werden. Weiterhin gibt es keinen Unterschied zwischen den Konzepten der Diplomstudenten und der Bachelorstudenten, weswegen die Stichproben als eine diskutiert werden können. Der Ablauf der Veranstaltungen war für die beiden Messzeitpunkte t_1 und t_2 nahezu identisch.

Ebenfalls zeigte sich kein signifikanter Einfluss der Zeit auf die Anzahl der Automaten.

Studenten können folglich Automaten genauso gut konzipieren wie professionelle Entwickler, wenn sie ausreichend Zeit zur Verfügung haben. Dies kann dadurch begründet werden, dass die Teilnehmer der Seminare und auch des Bachelorprojektes über Erfahrung in der Entwicklung von Software verfügten. Nach eigenen Angaben hatten 13 von 20 Studenten, welche den Fragebogen am Ende der Veranstaltung ausfüllten, teilweise mehrere Jahre Erfahrung als studentische Hilfskraft oder Werksstudent in der Industrie bei der Entwicklung von Softwaresystemen.

Hinzu kommt, dass ein möglicher Vorteil der eingespielten Entwicklerteams aus der Industrie durch die Studenten genauso gegeben ist. Studenten finden sich während des Studiums zusammen, um immer wieder gemeinsam als Gruppe Seminare, Übungen zu Vorlesungen und auch das Lernen für Klausuren zu bewältigen. Sie kennen die Stärken und Schwächen ihrer Teammitglieder aus ihrer gemeinsamen Zeit im Studium, so dass die Aufgaben gut aufgeteilt werden können.

Für die Studie mit den professionellen Entwicklern wurden gezielt Unternehmen ausgewählt, die im Bereich der Mensch-Maschine-Systeme entwickeln. Diese Erfahrung bringen teilweise auch die Studenten in ihre Teams mit, da einige der Teilnehmer im Nebenfach Psychologie studierten und dort vor allem die Veranstaltungen von Prof. Hartmut Wandke besuchten. Dies kann ein Grund sein, warum sie sich für das Seminar entschieden haben. Die thematische Affinität führte bei vier Studenten dazu, dass ihre Abschlussarbeiten vom Autor betreut wurden. Die Bachelorstudenten, die Psychologie nicht im Nebenfach gehört haben, erzielten aber im Vergleich zu den Diplomstudenten vergleichsweise gute Ergebnisse, so dass es keine Anhaltspunkte für einen Einfluss der Nebenfachausbildung auf die Qualität der Konzepte gibt.

Die Bachelorstudenten konzipierten keine signifikant besseren Konzepte zum Zeitpunkt t_1 , aber durch die optionale Aufgabe 4 im Bachelorprojekt steigerten die Studenten zweier Gruppen ihre Bewertung zum Messzeitpunkt t_2 , da sie Automaten für die gesamte Strecke konzipierten, die ebenfalls in Gabelungen sinnvoll wirksam sind.

Die zusätzliche Zeit, die die Bachelorstudenten laut Studienordnung hatten, führte hier zur weiteren Qualitätssteigerung. Eine Studie mit dem Zeitvolumen eines Bachelorprojektes und der Aufgabe, von Anfang an Automaten für die gesamte Strecke zu entwerfen, könnte den Einfluss der Ressource gegenüber den Ergebnissen der Studie von Saskia Kain deutlicher zeigen.

Die freiwillige Wahl der Veranstaltung hingegen, auch auf Grund der Nebenfachausbildung, könnte die hohe Motivation der Studenten erklären. Das Seminar genauso wie das Bachelorprojekt sind zwar ohne Benotung, aber für das Bestehen der Veranstaltung und das Anrechnen der Studienpunkte musste eine angemessene Leistung gezeigt werden. Es wurde versucht, die Leistungsmotivation weiter zu erhöhen, indem die Teams im Wettstreit miteinander um die Auszeichnung des besten Konzeptes lagen. Die Gewinner wurden in einer feierlichen Veranstaltung verkündet und als Preis wurden Amazon-Gutscheine überreicht. Das schriftliche Gutachten, welches im Rahmen der Veranstaltung verlesen wurde, befindet sich in Abschnitt B.4.

Die Teilnehmer zeigten hohes Engagement und investierten viel Zeit. Die genaue Anzahl an Stunden für die Konzeptionsphase ist kaum messbar und von den Studenten selbst schwer einzuschätzen. Anhand der Sitzungsprotokolle lässt sich nachvollziehen, wie oft und wie lange sie als Team zusammen an der Lösung der Aufgabe gearbeitet haben. Die Studenten trafen sich zwei bis dreimal für im Schnitt 132 Minuten pro Treffen, um die Automaten zu konzipie-

ren. Also investierten sie ungefähr zwei bis dreimal mehr Zeit als den professionellen Entwicklerteams zur Verfügung stand. Gemessen am geforderten Stundenumfang für Seminare, welcher jeweils eine Stunde Vor- und Nachbereitung pro Woche vorsieht, lagen die Studenten im Schnitt leicht über dem geforderten Maß. Den Anteil an individueller Anstrengung, welcher über die Teamsitzungen hinaus geht, konnte während der Studie nicht erfasst werden und würde die investierte Zeit weiter über das geforderte Maß hinaus erhöhen. Das Bachelorprojekt sieht pro Woche mehr Zeit vor, hier liegen die Studenten mit dem in den Sitzungsprotokollen dokumentierten Zeiten darunter, was sich aber nicht signifikant bei der Qualität bemerkbar machte.

Ein weiteres Argument könnte sein, dass SAM relativ einfach und abstrakt ist, so dass domänenspezifisches Wissen, wie es bei den professionellen Entwicklern als Berufserfahrung vorliegt, keinen großen Einfluss hat. SAM wurde genau so konzipiert, dass es keine aufwendigen Trainings oder spezielles Wissen in der Nutzung benötigt. Wäre die Simulation technischer (z.B. ein Flugzeugcockpit), würden das Ergebnis vermutlich anders sein und die spezielle Ausbildung und die Erfahrung eine größere Rolle spielen. So konnten die Studenten SAM in kurzer Zeit erfassen und entsprechende Konzepte zur Unterstützung aufstellen. Dies ist eine Bestätigung der Grundgedanken von SAM. Dabei gab es wenige Situationen, in denen Automatiken sinnvoll waren (Gabelungen, Hindernisse, Kurven), und durch die Aufgabenstellung wurde der Fokus klar auf die Gabelungen gerichtet. Dies zeigte sich auch in der Ähnlichkeit der konzipierten Automatiken von professionellen und studentischen Entwicklern. Die einzelnen Funktionen fanden sich in beiden Gruppen wieder, meistens differenzierter von die Studenten ausformuliert. Im Detail sind es Warnungen und Richtungshinweise vor Gabelungen, Ausgleich des Übersteuern vor der Verzweigung sowie Eingriffe beim Verlassen der Strecke. Was von den Studenten stärker berücksichtigt wurde sind die Personen in SAM, und so wurde die Anstrengung der Mikroweltbewohner auf unterschiedliche Weise berücksichtigt und der Spass am Steuern in SAM stärker in die Konzepte einbezogen.

Ein Konzept sah zum Beispiel das Einsammeln von Sternen, welche von der Automatik auf der zu bevorzugenden Abzweigung bei Gabelungen platziert wurden, vor. Ein anderes konzipierte eine Beschleunigungsautomatik, welche eine sofortige Beschleunigung auf Maximalgeschwindigkeit durch Drücken eines Buttons am Joystick ermöglichte. Dabei wurde ein gesammelter Vorrat an Energie verbraucht, welcher mit gutem Fahrverhalten aufgefüllt werden konnte. Diese Automatiken stellten den spielerischen Charakter von SAM stärker in den Vordergrund und versuchten die Monotonie und damit die Ermüdung zu reduzieren.

Die Anstrengung der Mikroweltbewohner wurde ebenso in die Entscheidung, welcher von beiden Mikroweltbewohner mehr Einfluss auf die Steuerung hat, einbezogen. Die Konzepte der professionellen Entwickler bezogen die Anstrengung in keiner ihrer Konzepte mit ein, bei den Studenten konnten zwei Konzepte mit einer entsprechen-

den Berücksichtigung identifiziert werden.

An das Fahrverhalten angepasste, adaptive Automatiken wurden häufiger von den Studenten konzipiert als von den professionellen Entwicklerteams. So wurden von den Studenten 15 und von den professionellen Entwicklern elf adaptive Automatikfunktionen beschrieben. Die Studenten lobten außerdem in sechs Konzepten die Mikroweltbewohner nach dem erfolgreichen Durchqueren der Gabelung. Dies forderten die Operateure ebenfalls nach einer Studie zur Evaluation des AMD (Nachtwei, 2010), wurde aber von den professionellen Entwicklern in der Studie von Saskia Kain nur in einem Konzept berücksichtigt. Die Vermutung liegt nahe, dass die Studenten die Personen im System dabei unterstützt haben, die Aufgabe möglichst gut zu bewältigen, während in der Studie von Saskia Kain instruiert wurde, das System mit seinen beiden Fehlermaßen Zeit und Abweichung von der Strecke zu optimieren. So wäre zu erklären, warum der Fokus der Studenten im Vergleich zu den Konzepten der professionellen Entwickler stärker auf den Mikroweltbewohnern liegt. Die professionellen Entwickler griffen oft stark in den Handlungsspielraum der Versuchspersonen ein (13 starke und 17 leichte Eingriffe in die Steuerung) und trauten ihnen selbst weniger zu. Ein starker Eingriff ist dabei als die Übernahme der Steuerung durch die Automatik zu 100% charakterisiert. Die Studenten konzentrierten sich stärker auf leichte Eingriffe (20 leichte und 9 starke Eingriffe). Es wurde also stärker automatisiert, wenn die professionellen Entwickler den Versuchspersonen die Bewältigung der Situation nicht mehr zutrauten.

Als Grundlage für den Vergleich musste in dieser Arbeit alleine die Bewertung der Konzepte genügen. Interessanter ist aber, wie die Konzepte der Studenten im Labor bestehen. Können sie die Leistung der Mikroweltbewohner steigern oder die Anstrengung signifikant verbessern? Dafür sollten Untersuchungen im Labor durchgeführt werden wie sie mit einem Konzept der professionellen Entwickler (siehe Kapitel 4) im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt wurde.

Der Rahmen des Seminars oder des Bachelorprojekts macht es hingegen schwierig, Störvariablen zu kontrollieren oder beispielsweise eine realistische Zeiteinschätzung von allen Studenten zu verschiedenen Zeitpunkten abzufragen. Der Rahmen des Seminars bot sich für diese Untersuchung an, grundsätzlich kann aber jede Einbettung vorgenommen werden, so lange sie für die Konzeptionsphase mehr Zeit zur Verfügung stellt, z.B. in einer Untersuchung, in welcher Versuchspersonen über Tage mehrere Stunden lang Konzepte entwickeln. Die Akquise professioneller Entwickler wurde von Saskia Kain in ganz Deutschland durchgeführt und ist deutlich zeitaufwendiger. Ferner sind diese durch Sach- oder Geldzuwendungen schwer zu motivieren. Eine Stichprobe von studentischen Entwicklern lässt sich dagegen leichter an einer einzigen Universität rekrutieren und durch bewertete Studienleistungen motivieren.

Wichtig ist die Erkenntnis, dass der Einsatz von Studenten für diese Art von Studien ausreichend ist, wenn mehr Zeit zur Verfügung steht.

Wird die gegebene Zeit dann genutzt und sinnvoll gefüllt, kann dies fehlende Erfahrung kompensieren und zu guten Ergebnissen führen.

ÜBERPRÜFUNG DER WIRKSAMKEIT VON AUTOMATIKEN

In der Feldstudie mit Studenten wurden zehn neue Konzepte zusätzlich zu den 30 Konzepten der Studie von Saskia Kain erstellt (siehe Kapitel 3. Nach ausgiebigen Analysen der Konzepte in Hinblick auf Qualität und verschiedener anderer Merkmale wie Adaptivität zeigte sich, dass fehlende Berufserfahrung durch zusätzliche Zeit ausgeglichen werden konnte. Trotzdem variierte die Qualität der Konzepte stark und am Ende sollte das am besten bewertete Automatikkonzept im Labor getestet werden. Über die beiden Studien mit professionellen und studentischen Entwicklern hinweg wurden die Ressourcen „Informationsquellen“ und „Zeit“ variiert, um die optimale Ausprägung zu finden, mit dem Ziel unter besten Bedingungen ein Automatikkonzept zu schaffen, welches im Vergleich zu einem gut trainierten Operateur mit bestmöglichem Operateursarbeitsplatz bestehen kann (Wandke & Nachtwei, 2008). Dieser Vergleich soll Hinweise auf die Lösung des Problems der Arbeitsteilung von Mensch und Maschine bzw. im ATEO Projekt zwischen Operateur und Automaten, welche von Entwicklern konzipiert wurden, geben.

4.1 EINLEITUNG

Erste Ansätze der Funktionsteilung zwischen Mensch und Maschine gingen den Weg über statische Listen (Fitts, 1951), welche aber durch die rasante technologische Entwicklung schnell veralteten und angepasst werden mussten. Auch fokussierten die MABA-MABA-Listen (Men are better at - Machines are better at) stark auf die Schwächen des Menschen, welche durch die Maschine ausgeglichen werden sollten. Dies führte zu grundsätzlichen, zum Teil philosophischen Diskussionen. In den folgenden Jahren veränderte sich die Rolle des Operateur im Umgang mit Maschinen zu einer überwachenden Funktion. Der Begriff supervisory control entstand (Moray, 1986; Sheridan, 1992; Sheridan & Verplank, 1978), und typische Aufgaben umfassten nun das Überwachen der Automatik und das Eingreifen, wenn es nötig wurde, die Kontrolle zurück zu erlangen. Für die Überwachung großer Systeme ließen sich die Aufgaben oft in vier Klassen einteilen: Akquise und Analyse von Informationen, die Entscheidungsfindung sowie die Handlungsausführung. Diese vier Handlungsphasen können unterschiedlich stark automatisiert werden. Parasuraman et al. (2000) verbanden diese Aufgabenklassen mit den Levels of Automation (LOA) von Sheridan und Verplank (1978) (siehe Tabelle 2 in Kapitel 1) und gaben Empfehlungen zum Grad der Automation für jede dieser Aufgabenklassen. Diese Empfehlungen waren eine Grundlage für die Bewertung der Konzepte aus den beiden Studien (siehe Abschnitt 3.1).

Die Ansatz nach Fitts (1951), entweder dem Menschen oder der Maschine die Verantwortung zu geben, konnte so durch dieses und andere Modelle (Endsley & Kaber, 1999) ersetzt werden. Allen gemeinsam ist, dass der Mensch stärker in den Mittelpunkt gerückt wurde, und so prägte Billings (1997) den Begriff der *human centered automation*.

Alle bisherigen Versuche, sich der Lösung für das Problem der Funktionsallokation anzunähern, hatten gemeinsam, dass nach der Entwicklung der Automatik diese ihre Aufgabe statisch ausführte. Es kam zu keiner situationsbedingten Anpassung der Arbeitsweise der Automatik. Dieser permanenten Automatik steht die dynamische in Form der adaptiven Automatik gegenüber (Hancock et al., 1985; Inagaki, 2003; Kaber & Endsley, 2004; Rouse, 1976, 1988). Situationsabhängig passt sich hierbei die Automatik an den Menschen an, z.B. wenn die Anstrengung steigt, kann sie zur Entlastung mehr Aufgaben übernehmen und zu einem höheren Level of Automation wechseln. Wenn die Automatik dies aber eigenständig übernimmt, besteht die Möglichkeit, dass der Operateur diese Wechsel bei intransparenter Arbeitsweise und fehlendem Feedback nicht mehr nachvollziehen kann (automation surprises Billings (1997); Sarter, Woods und Billings (1997); Wiener (1989)). Bei dieser Vielzahl an Problemen und keiner klaren Lösung könnte man zu dem Schluss kommen, dass es am besten wäre, den Menschen mit all seinen Fehlern durch die Automatik zu ersetzen, und eine Vielzahl an Ingenieuren verfolgten diesen Ansatz (Bainbridge, 1983). Da aber alle Automatiken wiederum vom Menschen entworfen und implementiert werden, würde dies nur den Fehler vom Operateur auf den Entwickler von Automatiken verschieben (Sheridan & Parasuraman, 2006). Im Rahmen des ATEO Projektes wird deswegen dem Entwickler hinter der Automatik mehr Aufmerksamkeit gewidmet und der Vergleich zwischen zwei unterschiedlichen Gruppen von Menschen, nämlich Operateuren und Entwicklern von Maschinen, angestellt, um einen Beitrag zur Diskussion über die Funktionsteilung zwischen Mensch und Maschine zu leisten.

Im Rahmen seiner Dissertation entwarf Nachtwei (2010) einen Operateursarbeitsplatz, das ATEO Master Display (AMD) und verbesserte diesen sukzessive. Dafür wurden drei Studien mit unterschiedlichen Ausbaustufen durchgeführt. Die dritte Ausbaustufe bot dem Operateur die maximale Anzahl von Eingriffen und Informationsquellen zum Prozess sowie ein nach Kriterien der Gebrauchstauglichkeit optimiertes und getestetes Design (siehe Unterabschnitt 2.1.2). Der Operateur konnte aber unter optimierten Bedingungen die Genauigkeit und Geschwindigkeit von SAM im Vergleich zu einer Fahrt ohne Unterstützung nicht signifikant verbessern. Es gelang ihm dafür, die Anstrengung der Mikroweltbewohner signifikant zu verringern. Diese Befunde wurden durch eine Replikation der Studie bestätigt, in der zusätzlich das Blickverhalten des Operateurs mit Hilfe von Eye-Tracking aufgenommen wurde (Stade, 2012). Es stellte sich im Anschluss die Frage, wie man zusätzlich zur ver-

ringerten Anstrengung die Leistung der Mikroweltbewohner weiter steigern könnte.

In der Dissertation von von Bernstorff (2014) wurde deswegen das AMD für den Operateur um die Möglichkeit erweitert, die Vermittlung visueller und auditiver Hinweise für die Mikroweltbewohner adaptierbar an die Automatik abgeben zu können. Dafür wurden am Interface des AMD keine neuen Steuerungselemente eingefügt, da es sich in dieser Form, durch Nutzerbefragungen und heuristische Evaluationen optimiert, bewährt hatte. Der Operateur bekam dagegen zusätzlich zum manuellen Versenden von Hinweisen die Möglichkeit, durch einen Rechtsklick auf einen Button die entsprechende Automatik dieses visuellen oder auditiven Hinweises zu aktivieren. Die Deaktivierung erfolgte, wenn der Operateur diesen automatisierten Hinweis das nächste Mal manuell versendete (Schulze, 2012). Mit der Möglichkeit dieser adaptierbaren Automatiken war es den Operateuren im Vergleich zum AMD ohne Automatikfunktionen gelungen, die Genauigkeit der Mikroweltbewohner signifikant zu verbessern. Die Anstrengung und die Geschwindigkeit der Mikroweltbewohner wurden dabei nicht verschlechtert (von Bernstorff, 2014).

Um im Vergleich zu den Operateuren eine gute Leistung zu erbringen, wurde als Automatik ein sehr gut bewertetes und umsetzbares Konzept aus der Studie von Saskia Kain ausgewählt (siehe auch Abschnitt 3.1). Dabei fiel die Wahl auf das Konzept 19. Es erzielte bei der Bewertung 160,49 Punkte und konnte sich nach der Bewertung der Umsetzbarkeit der Funktionen von Rang 5 auf Rang 2 verbessern. Das in der Rangliste am besten positionierte Konzept 20 wurde aus technischen Gründen und Problemen mit der Programmierumgebung und virtuellen Maschine von Squeak, die nicht gelöst werden konnten, ausgeschlossen ¹. Die Konzepte der Studenten wurden ebenfalls vom direkten Vergleich mit Operateuren ausgeschlossen, da sie sich in der Konzeptphase primär auf die Gabelungssituation und weniger auf die gesamte Strecke konzentriert haben. Da aber alle Automatiken aus modularen Automatikfunktionen aufgebaut sind, wäre ein synthetisches Konzept denkbar. Dieses würde aus Automatikfunktionen aller Konzepte zusammengesetzt werden, wobei die subjektiv am besten eingeschätzten oder die am besten bewerteten Funktionen ausgewählt werden würden. So erhielte man ein Konzept, welches so nie von Entwicklern vorgesehen oder antizipiert wurde, aber in seiner Kombination erfolgreich unterstützen könnte. Die Ideen von allen Entwicklerteams würden so in eine Automatik einfließen. Auf dieses synthetische Konzept wurde im ersten Vergleich aber bewusst verzichtet, da Automatiken und Operateure, was die Ressourcennutzung betrifft, unter vergleichbaren Bedingungen geprüft werden soll-

¹ Die konzipierte Streckenvorschau des Konzeptes konnte die in SAM verwendeten mit über 200 MB sehr großen Streckenbilder nicht laden, da die virtuelle Maschine von Squeak nicht in der Lage ist ausreichend Arbeitsspeicher zu verwenden, auch wenn dieser durch den eingesetzten Computer eigentlich zu Verfügung stehen würde.

ten.

Das ausgewählte Konzept 19 sah vier Automatikfunktionen vor. Die erste Automatikfunktion gab vor jeder Gabelung einen auditiven und visuellen Hinweis, immer die enge, aber gerade verlaufene Abzweigung zu nehmen (siehe Abbildung 15).

Bestand die Gefahr einer Kollision mit einem dynamischen Hindernis, konzipierten die Entwickler für die zweite Funktion die Übernahme der Steuerung, so dass die Geschwindigkeit kurz reduziert und das dynamische Hindernis passiert werden konnte. Bei einer Kollisionsgefahr mit statischen Hindernissen sah das Konzept für die dritte Automatikfunktion vor, die Steuerung anstelle der Versuchspersonen zu übernehmen und einen vorgegebenen Kurs an den Hindernissen vorbei zu navigieren. Sobald keine Gefahr mehr bestand, wurde die Steuerung wieder übergeben. Diese Eingriffe bei Hindernissen waren von sehr kurzer Dauer (ca. 150 ms) und punktuell, so dass davon ausgegangen werden konnte, dass sie unbemerkt bleiben würden.

Die vierte und letzte Funktion manipulierte die Verteilung der Steuerung, welche bei Start für jeden der beiden Mikroweltbewohner einen Anteil von 50% vorsieht, nach folgendem Schema: Derjenige Mikroweltbewohner, der die Instruktion „schnell und vor allem genau zu fahren“ erhalten hatte, bekam bis zu 90% des Einflusses auf die Steuerung, je mehr sich das Fahrobjekt von der Strecke weg bewegte oder je schwieriger die Kurven wurden. Es wurde zwischen drei verschiedenen Arten von Kurven und somit Abstufungen der Automatik unterschieden (siehe Abbildung 16). Auf geraden Streckenteilen bekam der Mikroweltbewohner mehr Einfluss auf die Steuerung, der instruiert wurde, „genau, aber vor allem schnell zu fahren“. Die detaillierte Beschreibung des Konzeptes findet sich im Abschnitt C.2.

4.2 FRAGESTELLUNG

Wie viel Automation ist nun aber als Unterstützung der MWB sinnvoll? Den Fahrer als mögliche Fehlerquelle auszuschließen, verschiebt die Verantwortung auf die Entwickler. Diese haben jetzt die Aufgabe, jede erdenkliche Situation vorherzusehen und bei der Konzeption einzuplanen. Kann eine von Entwicklern konzipierte Automatik die Kennwerte eines komplexen dynamischen Prozesses besser optimieren als ein trainierter Operateur am AMD? Für den komplexen dynamischen Prozess SAM sind die zentralen Kennwerte Genauigkeit und Geschwindigkeit der Mikroweltbewohner, welche vom Operateur direkt und zeitnah über das AMD beeinflusst werden können, indem er auf das beobachtete Verhalten der Mikroweltbewohner reagiert. In verschiedenen Studien mit Entwicklerteams wurden Konzepte für Automaten entworfen, die anstelle des Operateurs wirken sollen. Die Antizipationsleistung der Entwickler ersetzte hier die systemnahe Analyse- und Reaktionsleistung des Operateurs. Durch diese Studie soll ein Vergleich sowohl zu den Studien von Nachtwei

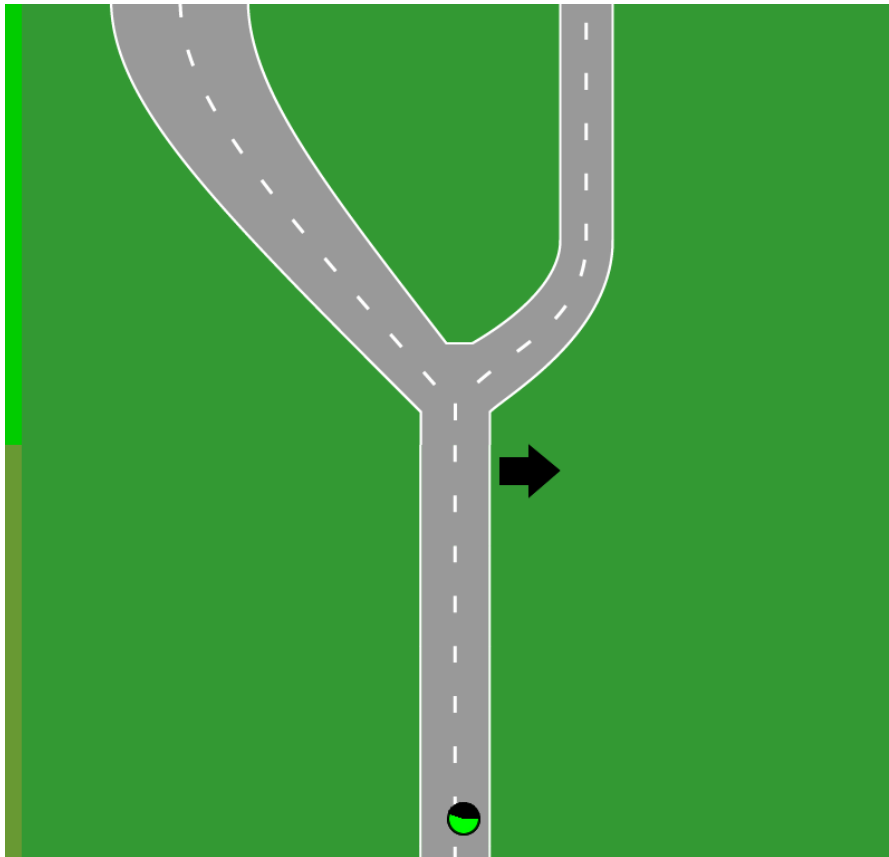


Abbildung 15: Visuellen Hinweis der Automatik vor einer Gabelung

(2010) und Stade (2012) mit Operateuren als auch zum kooperativen AMD aus von Bernstorff (2014) möglich werden. Zusätzlich zu den zentralen Kenngrößen Genauigkeit und Geschwindigkeit sollen sowohl die Gabelungsgüte, welche die Entscheidung der Wegwahl und Trackingleistung in Gabelungssituationen bewertet, die Anzahl der Kollisionen mit Hindernissen als auch die Anstrengung der Versuchspersonen bei der Bewältigung des Trackings untersucht werden.

Als zentrale Fragestellung dieser Studie ergab sich folgende: Kann eine von Entwicklern konzipierte Automatik die Mikroweltbewohner in SAM besser unterstützen als ein Operateur über das AMD?

Hypothesen Entsprechend der Fragestellung teilen sich die Hypothesen in zwei Blöcke: Der Vergleich zwischen einer Fahrt mit und ohne Unterstützung durch die Automatik steht im Mittelpunkt des ersten Blockes H1 und der Vergleich zu den Studien von Jens Nachtwei und Charlotte von Bernstorff mit Operateuren steht im Zentrum des zweiten Blockes H2.

Die Automatik ist so konzipiert, dass sie die individuellen Instruktionen der Mikroweltbewohner, Genauigkeit oder Geschwindigkeit zu bevorzugen, ausnutzt. Wenn die Mikroweltbewohner sich an die Instruktionen halten, kann sowohl die Genauigkeit als auch die Geschwindigkeit gesteigert werden, indem entsprechend der Einfluss auf das Fahrojekt verschoben wird (H1.1 und H1.2).

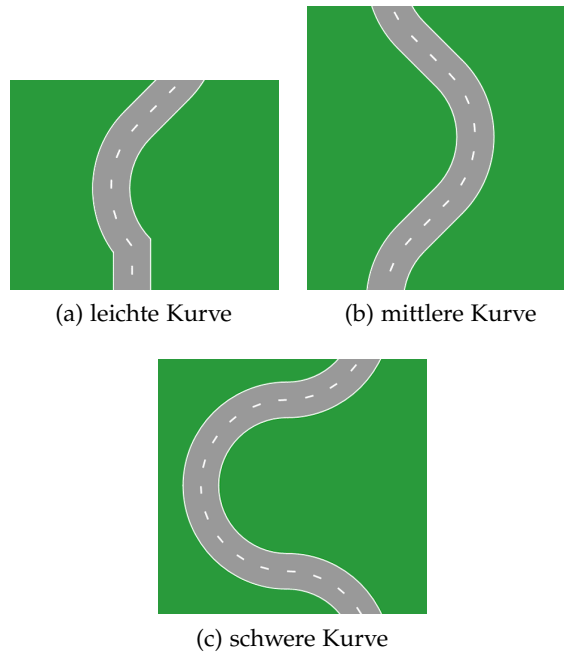


Abbildung 16: Verschiedene Kurvenarten in SAM

In Gabelungssituationen ist davon auszugehen, dass die Hinweise der Automatik, links oder rechts zu fahren, die Güte im Vergleich zur Fahrt ohne Unterstützung steigert. Der mögliche Konflikt der Mikroweltbewohner wird durch die Automatik zuverlässig aufgelöst. Ebenso verhält es sich im Bereich der Hindernisse. Die Anzahl der Kollisionen sollte Null sein, da sie von der Automatik verhindert werden. Dies setzt aber voraus, dass die Automatik fehlerfrei arbeitet und nicht ausfällt. Eine Vermeidung der Bestrafung nach Kollisionen wird sich dann positiv auf die beiden Leistungsmaße Genauigkeit und Geschwindigkeit auswirken. Dadurch steigt die Sicherheit, aber auch die Risikobereitschaft, vor allem im Bereich der Hindernisse schneller zu fahren. Dies wird sich in einer erhöhten Geschwindigkeit widerspiegeln und die Genauigkeit wird ebenfalls steigen, da der genauer fahrende Mikroweltbewohner in schwierigen Kurven die Steuerung übernimmt.

Die Anstrengung wird durch die Automatik sinken, da die Unterstützung der MWB durch die verschiedenen Automatikfunktionen die Aufgabe des Trackings erleichtert, so werden bspw. Entscheidungssituationen mit Gabelungen oder Hindernissen durch die Entscheidungshilfen deutlich einfacher.

H1 Durch die Unterstützung der Automatik zeigen die MWB eine bessere Leistung in Bezug auf Genauigkeit und Geschwindigkeit als ohne Unterstützung.

H1.1 Die Genauigkeit der Mikroweltbewohner in SAM kann durch die Automatik gesteigert werden.

H1.2 Die Geschwindigkeit der Mikroweltbewohner in SAM kann durch die Automatik gesteigert werden.

H1.3 Die Anzahl an Kollisionen der Mikroweltbewohner in SAM mit Hindernissen kann durch die Automatik gesenkt werden.

H1.4 Die Güte der Gabelungsdurchfahrten der Mikroweltbewohner in SAM kann durch die Automatik gesteigert werden.

H1.5 Die Anstrengung der Mikroweltbewohner in SAM wird durch den Einsatz der Automatik sinken.

Zusammenfassend werden die routinierten, gleichmäßigen Eingriffe der Automaten im Vergleich zum Operateur, welcher ermüden oder diese vergessen kann, die Leistung der MWB steigern. Sollten die Automaten ausfallen, was zwar nicht zu erwarten ist, kann es aber durch die erhöhte Risikobereitschaft der MWB und den fehlenden Eingriffen zu einem massiven Leistungsabfall kommen (Onnasch, Wickens, Li & Manzey, 2014).

Durch den schnellen Wechsel der Situationen ist es ein Vorteil der Automatik gegenüber eines Operateurs, sich schnell in Gabelungen oder Kurven dem Abweichen von der Fahrbahn anzupassen. Ein Operateur könnte ebenfalls den Einfluss auf die Steuerung verändern, aber nicht in der hohen Frequenz bzw. könnte er dann keine zusätzlichen Eingriffe mehr tätigen. Er kann in Situationen, in denen Hindernisse und Gabelungen unmittelbar nacheinander auftreten, so beansprucht sein, dass Hinweise nicht rechtzeitig gegeben oder ganz vergessen werden. Die Automatik wird in diesen Situationen keine Schwierigkeiten haben, rechtzeitig Hinweise zu geben und die Mikroweltbewohner sicher durch diese Situationen zu führen. Die Anzahl der Eingriffe sollte die des Operateurs übersteigen. Die mangelnde Flexibilität der Automatik ist in diesem Fall kein Nachteil, da die Strecke auf einfache Weise analysiert werden kann. Auf unvorhergesehenes Verhalten der Mikroweltbewohner kann der Operateur zwar besser reagieren, diese Situationen sollten aber unregelmäßig auftreten und keinen entscheidenden Einfluss auf die Gesamtleistung haben. Der totale Ausfall des genauer fahrenden MWB hätte aber katastrophale Auswirkungen auf die Leistung, da die Automatik darauf nicht reagieren würde. Es wird also davon ausgegangen, dass die Automatik die Leistung der MWB gegenüber den Eingriffen eines Operateurs verbessern kann.

H2 Die Automatik verbessert die Leistung (Genauigkeit, Geschwindigkeit, Anstrengung) der Mikroweltbewohner in SAM im Vergleich zum Operateur.

H2.1 Die Genauigkeit der Mikroweltbewohner in SAM kann durch die Automatik im Vergleich zu einem Operateur gesteigert werden.

H2.2 Die Geschwindigkeit der Mikroweltbewohner in SAM kann durch die Automatik im Vergleich zu einem Operateur gesteigert werden.

H2.3 Die Anzahl an Kollisionen der Mikroweltbewohner in SAM mit Hindernissen kann durch die Automatik im Vergleich zu einem Operateur gesenkt werden.

H2.4 Die Güte der Gabelungsdurchfahrten der Mikroweltbewohner in SAM kann durch die Automatik im Vergleich zu einem Operateur gesteigert werden.

H2.5 Die Anstrengung der Mikroweltbewohner in SAM kann durch den Einsatz der Automatik im Vergleich zu einem Operateur gesenkt werden.

4.3 VERSUCHSDESIGN

Für die Datenerhebung wurde, wie in den vorhergehenden Studien des ATEO Projektes, SAM mit zwei Versuchspersonen als kooperative Tracking-, Manöver- und Navigationsaufgabe eingesetzt. Die Automatik war über das ATEO Automation Framework (AAF) mit SAM verbunden. Das ATEO Lab System (ALS) für diese Laborstudie bestand damit aus SAM mit integriertem AAF und konfigurierter Automatik. Die Versuchspersonen absolvierten insgesamt elf Fahrten in SAM (Tabelle 23), jeweils zwei Trainingsfahrten alleine als Single-Tracking Aufgabe pro Versuchsperson, wo sie auf der Lernstrecke die Steuerung ausprobieren und sich mit den Eigenschaften von SAM vertraut machen konnten. Auf der Teststrecke, die ein wenig länger war, fuhren sie dann bereits mit der individuellen Instruktion (genau oder schnell zu fahren). Im Anschluss absolvierten sie kooperativ zwei Fahrten ohne Hindernisse und Gabelungen auf der Strecke. Es folgten eine Fahrt mit Gabelungen und Hindernissen sowie eine Fahrt mit Gabelungen, Hindernissen und dem erstmaligen Einsatz der Automatik. Die letzten drei Fahrten wurden auf einer dreimal so langen Strecke wie in den Fahrten 5-8 absolviert, so dass sowohl dem Operateur als auch der Automatik genug Gelegenheiten zum Eingreifen gegeben wurden. Die Anzahl der Gabelungen und Hindernisse auf der Strecke verdreifachten sich ebenfalls.

Genauigkeit und Geschwindigkeit waren die beiden primären Indikatoren für die abhängige Variable *Leistung der Mikroweltbewohner*, mit welcher die *Qualität der Eingriffe von Operateuren und von Entwicklern konzipierte Automaten* zur Optimierung des komplexen dynamischen Prozesses SAM gemessen werden sollte. Zusätzlich wurde die Gabelungsgüte, die Anzahl der Kollisionen und die subjektiv empfundene Anstrengung als weitere Gütemaße für eine Unterstützung durch Automaten und Operateure herangezogen. Die Genauigkeit wurde durch das Abweichen von der Mittellinie in SAM operationalisiert. Dafür wurde die Fläche berechnet, die entstand, wenn alle 40 ms ein Trapez mit den vier Punkten *Mittelpunkt des Fahrobjektes zum Zeitpunkt 1 bzw. 2* sowie dem entsprechenden Punkt auf der Mittellinie auf gleicher Höhe gezeichnet wird. Die Summe der Flächeninhalte der Trapeze war das Maß für die Genauigkeit. Die beste Genauigkeit war gegeben, wenn das Fahrobjekt zu keiner Zeit von der

Tabelle 23: Ablauf des Versuches und Eigenschaften der Strecken

Fahrt	fahrender MWI	Gabelung & Hindernisse	Automatik	Strecke	Länge [Pixel]
1	MWI 1	nein	nein	Lernstrecke	10186
2	MWI 1	nein	nein	Teststrecke	12025
3	MWI 2	nein	nein	Lernstrecke	10186
4	MWI 2	nein	nein	Teststrecke	12025
5	MWI 1+2	nein	nein	Hauptabschnitt	41936
6		nein	nein		
7		ja	nein		
8	MWI 1+2	ja	ja	langer Hauptabschnitt	119610
9		ja	ja		
10		ja	ja		
11		ja	ja		

Mittellinie abwich, da der Flächeninhalt der Trapeze in diesem Fall Null entspricht. Diese Form der Berechnung orientiert sich an der normalerweise bei Trackingaufgaben berechneten Root Mean Square Error (RMSE), gibt aber eine absolute Summe von Flächeninhalten und nicht die Wurzel aus dieser an.

Die Geschwindigkeit wurde über die Zeit, welche die Mikroweltbewohner benötigten, um das Ziel zu erreichen, operationalisiert.

Die Gabelungsgüte sagt aus, wie gut sich die beiden Versuchspersonen für eine der beiden Abzweigungen einer Gabelung entschieden und wie sehr sie dieser Entscheidung folgen konnten. Kommt es zum Beispiel durch das Lenkverhalten beider Versuchspersonen zu einer Entscheidung rechts zu fahren und im letzten Moment steuert eine der beiden in die entgegengesetzte Richtung, dann folgt daraus eine schlechte Gabelungsgüte und mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Abkommen von der Strecke. Im schlechtesten Fall fahren die Versuchspersonen exakt zwischen den beiden Gabelungszweigen hindurch. Dies ist die schlechteste Gabelungsgüte, welche mit 50% angegeben wird. Für die Messung der subjektiv empfundenen Anstrengung kam eine angepasste Rating Scale Mental Effort (RSME_A) nach Zijlstra (1993) zum Einsatz. Jens Nachtwei und Saskia Kain haben dafür die Skala ins Deutsche übersetzt, horizontal ausgerichtet und einen Anker am ehemals offenen oberen Ende bei 150 gegeben. Die Skala ist in Abbildung 17 dargestellt und besitzt von 0 - 150 die Anker „absolut keine Anstrengung“, „fast keine“, „ein wenig“, „etwas“, „eher viel“, „erhebliche“, „starke“, „sehr starke“, „extreme“ und „unerträgliche Anstrengung“.

Über den entwickelten Fragebogen (Abschnitt 2.2) sollte das Kontrollerleben erhoben werden und weitere Anhaltspunkte zur Güte der Automatik geben.

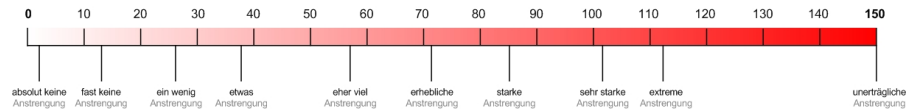


Abbildung 17: Angepasste Skala zur Messung der subjektiv empfundenen Anstrengung $RSME_A$

Versuchsteilnehmer Für die Laborstudie wurden 42 männliche und 44 weibliche Versuchspersonen im Alter zwischen 18 und 35 Jahren als Mikroweltbewohner eingeladen. Das Alter betrug im Durchschnitt $M = 25,63$ Jahre ($SD = 3,62$). Linkshänder, Personen mit einer Rot-Grün Sehschwäche sowie niedrigerem Bildungsgrad als Abitur und Nichtmuttersprachler Deutsch wurden ausgeschlossen. Auch wurden alle Probanden aus anderen Studien des ATEO Projektes ausgeschlossen, da sie die Manipulationen während der Durchführung bereits kannten und diese so keinen Effekt mehr hätten. Aus dem gleichen Grund wurden Studenten der Psychologie ausgeschlossen, da sie Manipulationen während der Studie erkennen könnten. Probanden, welche sich zur Zeit der Studie oder zuvor in psychotherapeutische Behandlung befanden, wurden ebenfalls ausgeschlossen, um einen möglichen Einfluss etwaiger emotionaler Instabilität auf die Varianz zu reduzieren.

Die Versuchspersonen wurden immer gleichgeschlechtlich in 43 Zweierteams aufgeteilt. Die Zuteilung der Versuchspersonen als Mikroweltbewohner 1 bzw. 2 erfolgte zufällig durch die Versuchspersonen während der Wahl des Sitzplatzes vor dem Versuchscomputer im Labor. Die Akquise der Versuchspersonen wurde über den Probandenserver des Institutes für Psychologie an der Humboldt-Universität zu Berlin durchgeführt. Alle Versuchspersonen erhielten als Aufwandsentschädigung 15 Euro.

4.4 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Nach der Begrüßung und dem Unterschreiben der Datenschutzerklärung wurde den Versuchspersonen die Aufgabe des Experiments erklärt. Dabei wurde ihnen nur gesagt, dass es sich um eine Teamaufgabe handeln werde, in welcher sie zusammen ein Fahrobjekt eine Strecke entlang von Start bis Ziel bewegen sollten. Weitere Informationen wurden im Laufe des Versuches vor allem in den ersten Trainingsfahrten über die Instruktionstexte vermittelt. Die erste Handlung als Team bestand anschließend darin, gemeinsam eine von fünf Teaminstruktionen zu wählen und diese mit einem Mausklick auf dem Bildschirm auszuwählen (siehe Abbildung 18). Diese Teaminstruktionen waren die Tarnung für die gegensätzlichen Instruktionen, welche den Versuchspersonen einzeln in der Trainingsphase vermittelt wurden. Durch das Klicken der Buttons passierte technisch nicht mehr, als dass der nächste Bildschirm mit Instruktionen aufgerufen wurde.

Nachdem die vermeintliche Teaminstruktion ausgewählt wurde, verließ Mikroweltbewohner 2 den Raum, um draußen zu warten während Mikroweltbewohner 1 sein Training für zwei Fahrten absolvier-

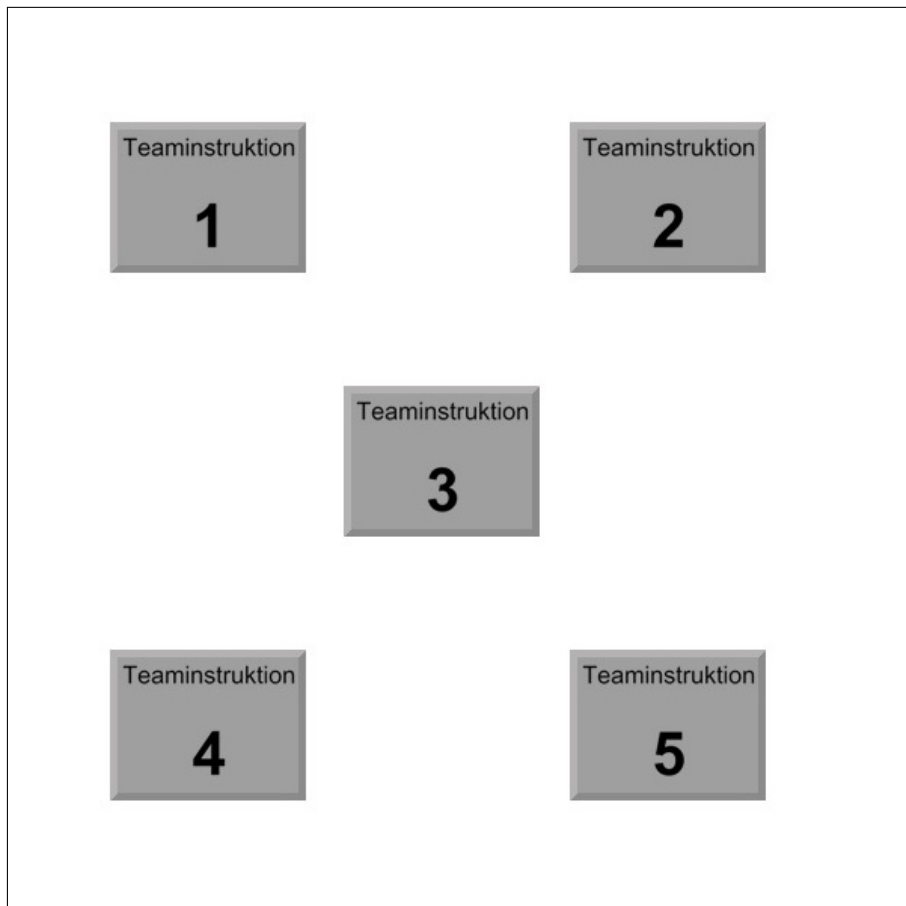


Abbildung 18: Auswahlbildschirm der Teaminstruktion

te. In der ersten Single-Tracking-Fahrt sollte die Steuerung mit einem einzelnen Joystick und 100% Einfluss auf die Steuerung ausprobiert werden und nach dieser Fahrt wurde über die Instruktionen auf dem Bildschirm die individuelle Instruktion vermittelt. Die rechts vor dem Bildschirm sitzende Versuchsperson (Mikroweltbewohner 1) bekam die Instruktion genau, aber vor allem schnell, die links daneben sitzende Versuchsperson (Mikroweltbewohner 2) die Instruktion schnell, aber vor allem genau zu fahren. Abbildung 19 zeigt exemplarisch die individuelle Instruktion für den Mikroweltbewohner 1.

Nach der zweiten Fahrt wiederholte sich die Trainingsphase für Mikroweltbewohner 2 mit der Vermittlung der eigenen Instruktion, während Mikroweltbewohner 1 vor dem Untersuchungsraum wartete. Mit Hilfe der gegensätzlichen Instruktionen sollte die Komplexität von SAM erhöht werden, da sich in Entscheidungssituationen wie die Wegwahl vor Gabelungen die individuellen Ziele den Wahlmöglichkeiten widersprachen. Damit diese Manipulation nicht auffiel, durften die Versuchspersonen während des Versuches nicht miteinander reden.

Nach dieser individuellen Trainingsphase folgten die fünfte und sechste Fahrt, bei denen das erste kooperative Tracking durchgeführt wurde. Für diesen Teil der Trainingsphase wurden Gabelungen durch gerade Streckenelemente ersetzt und Hindernisse von der Strecke ent-

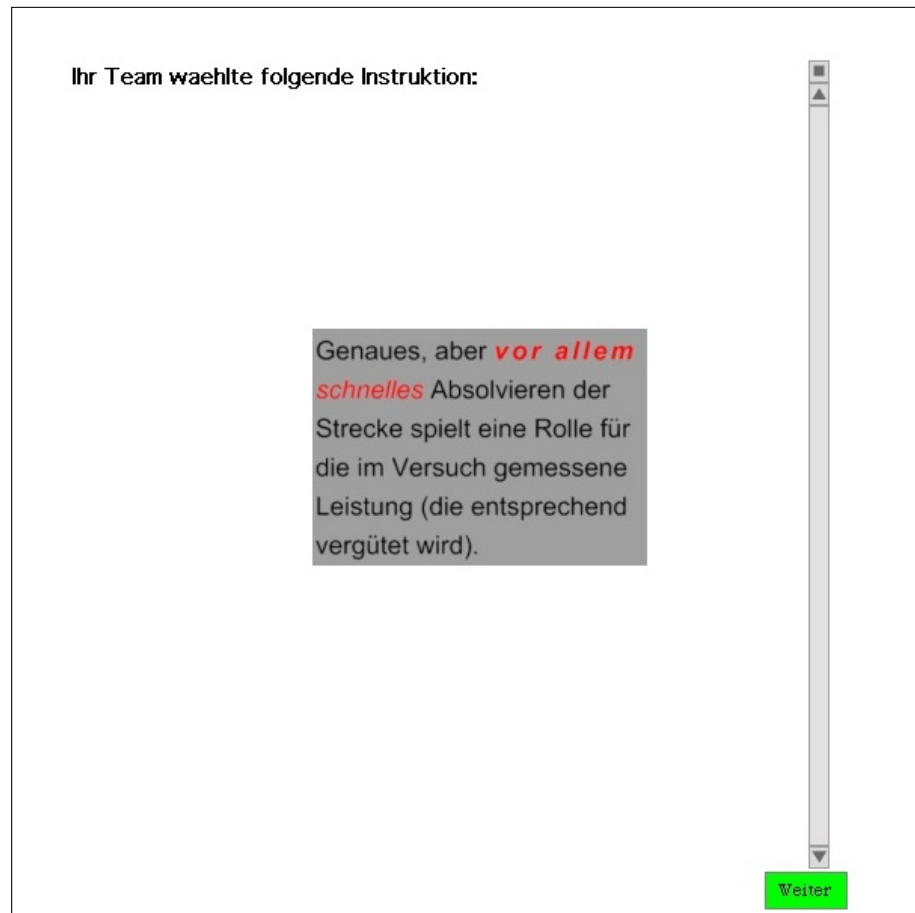


Abbildung 19: Individuelle Instruktion für Mikroweltbewohner 1

fernt. Erst ab der siebten Fahrt wurden drei Gabelungen, zwei Situationen mit statischen Hindernissen sowie ein dynamisches Hindernis eingefügt. Diese Fahrt diente als erster Test für die Teamleistung, da hier alle Manipulationen in die Strecke integriert waren.

In der achten Fahrt kam die Automatik erstmalig mit der identischen Streckenkonfiguration wie in der siebten Fahrt zum Einsatz. Die siebte und achte Fahrt eigneten sich so gut für einen direkten Vergleich der Leistung der Mikroweltbewohner mit und ohne Unterstützung durch eine Automatik.

Die dann folgenden drei Fahrten waren für die Leistungsmessung der Mikroweltbewohner und die Bewertung der Automatik im Vergleich zu einer Unterstützung durch den Operateur vorgesehen. Diese Strecke war dreimal so lang wie die Strecken der kooperativen Fahrten zuvor und beinhaltete so dreimal mehr Gabelungen und statische sowie dynamische Hindernisse. Die Länge der Strecken wurden deshalb verdreifacht, um einem Operateur oder einer Automatik genug Zeit zu geben, einzugreifen und die Leistung zu optimieren. Eine Übersicht über die Fahrten und die Unterschiede gibt Tabelle 23.

Die Instruktionen, welche auf dem Hauptbildschirm der Untersuchung in SAM integriert waren und vor sowie nach jeder Fahrt erschienen, führten die Versuchspersonen durch den Versuch, so dass nach dem Start ein Versuchsleiter keine Hilfestellung mehr geben musste. Trotzdem verblieb der Autor als Versuchsleiter im Raum,

nahm aber keinen Anteil an der laufenden Untersuchung. Fragen der Versuchspersonen wurden nach dem Start der kooperativen Fahrten nicht mehr gestellt oder beantwortet. Eine Liste aller Instruktionstexte finden sich im Abschnitt D.1.

Um die Motivation, eine gute Leistung zu erbringen, weiter zu steigern, wurde den Versuchspersonen eine leistungsabhängige Bezahlung in Aussicht gestellt. Diese sah vor, dass besonders gute Leistungen mit 20 Euro sowie schlechtere Leistungen nur noch mit 10 Euro vergütet werden würden. Dies wurde auch durch eine entsprechende Erinnerung verdeutlicht, welche im Untersuchungsraum auslag. Am Ende wurde jedoch allen Probanden 15 Euro für die Untersuchung ausgezahlt.

Während der Untersuchung füllten die Versuchspersonen eine Vielzahl von Fragebögen und Rating Scales aus und beantworteten ad hoc Fragen. Es sollen nur die für die Diskussion und den Vergleich zu Operateuren ausgewerteten Fragebögen berichtet werden. Für eine vollständige Liste sei auf den Abschnitt D.2 verwiesen.

Die Anstrengung über die RSME_A Skala sowie das Kontrollerleben über den eigens für diesen Versuch entwickelten Fragebogen (siehe Abschnitt 2.2 wurden nach jeder Fahrt vorgelegt, um die Hypothesen abzusichern und weitere Varianz in der Stichprobe aufzuklären.

Vor und nach dem Versuch wurden die eigene Präferenz schnell oder genau zu fahren, die momentane Stimmung, Sympathie für die andere Versuchsperson, aktueller Zustand der Müdigkeit, Sicherheit beim Umgang mit dem Joystick und die Anstrengung über sechs ad hoc Fragen für eine weitere Varianzaufklärung erhoben.

Ebenfalls nach dem Versuch wurde zur Kontrolle der Manipulation abgefragt, ob den Probanden die entgegengesetzten individuellen Instruktionen aufgefallen waren. Außerdem sollten die Probanden die Unterstützung durch die Automatik mit einer Schulnote von 1-6 benoten. Im Rahmen der letzten Frage gaben sie den Anteil emotionaler, körperlicher und mentaler Anstrengung in Prozent (Summe sollte 100% ergeben) an.

4.5 ERGEBNISSE

4.5.1 *Aufbau und Aufbereitung der Logdateien*

In SAM werden im Takt von 40ms 64 Variablen gespeichert und so ein Systemzustand von SAM festgehalten. Diese 64 Variablen lassen sich in vier Klassen einteilen, Eingriffe der Automatik (18 Variablen), Eingriffe des Operateurs (21 Variablen), Eingriffe der kooperativen Automatik (2 Variablen), Zustand von SAM (23 Variablen). In der eigenen in diesem Kapitel beschriebenen Studie wurden lediglich der Zustand von SAM und die Eingriffe der Automaten registriert. Tabelle 24 schlüsselt diese Klassen weiter auf. Alle Informationen zur Logdatei findet man in Bothe, Hildebrandt und Niestroj (2010).

Für die Aufbereitung der Logdateien, welche von SAM nur im csv-Dateiformat gespeichert werden, wurde ein Javaprogramm geschrie-

Tabelle 24: Logklassen und die Anzahl der gespeicherten Systemvariablen

Klasse	Anzahl Variablen
SAM Laufzeitdaten	2
SAM Streckeninformationen	11
SAM Joystickeingaben der MWB	4
SAM Objektzustand	6
Automatik, direkte Eingriffe	10
Automatik, Hinweise	6
Automatik, Metadaten	2
Operateur, direkte Eingriffe	6
Operateur, Hinweise	10
Operateur, Metadaten	5
kooperative Automatik	2

ben, welches die Daten sortiert, zusammenfasst und deskriptive Statistiken erstellt Hampel (2012). So werden die Fehlermaße für Genauigkeit, Geschwindigkeit, Güte der Gabelungswahl, Anzahl der Kollisionen, Anzahl der Eingriffe der Automatik oder des Operators berechnet. Das so genannte Logfile-Analyse-Tool (LFA-Tool) ist in der Lage, die Daten von beliebig vielen Logdateien zu verarbeiten und die Ergebnisse in einer einzigen Excel-Tabelle mit verschiedenen Blättern zusammenzufassen.

Für die Berechnung der Ergebnisse dieser Studie wurde das LFA-Tool mit allen Logdateien der MWB separat für jede Fahrt durchgeführt und so elf Dateien mit aufbereiteten Kennzahlen erstellt.

4.5.2 Prüfung der H_1

Um die Wirkung der Automaten auf die Mikroweltbewohner untersuchen zu können, sollen die beiden Fahrten 7 und 8 verglichen werden. Der Streckenverlauf war bei beiden identisch und die Hindernisse waren ebenfalls an den gleichen Stellen positioniert, so dass der einzige Unterschied im Einsatz der Automatik bestand, welche in Fahrt 8 erstmals unterstützend auf die Mikroweltbewohner einwirkte. So kann der Übergang zwischen alleiniger Selbstbestimmung der Mikroweltbewohner und Einfluss der Automatik durch die Eingriffe untersucht werden. Die entscheidenden Leistungsmaße für den Vergleich sind die Geschwindigkeit, die Genauigkeit, die Anstrengung der Versuchspersonen sowie die Gabelungsgüte und die Anzahl der Kollisionen. In den Studien mit Operateur und kooperativer Zusammenarbeit von Operateur und Automatik ergaben sich zwar keine Unterschiede bei der Gabelungsgüte der Fahrten 7 und 8, da die Automatik aber regelmäßig und beständig Hinweise zur Gabelungswahl vor Gabelungen gab und die Steuerung die meiste Zeit beim genauer

Fahrenden verweilte, könnte das unter Umständen zu einer verbesserten Güte führen. Deswegen wird es zur Kontrolle berechnet.

Für alle Vergleiche wurden t-Tests für verbundene Stichproben gerechnet. Die Voraussetzung der Normalverteilung, getestet mit dem Kolmogorov-Smirnov Test, ist für die Zeit aus Fahrt 7 nicht erfüllt, alle anderen Verteilungen sind normalverteilt. Für die Anstrengung wurde ein Fall auf Grund eines fehlenden Messwertes ausgeschlossen (N=42), alle anderen Vergleiche wurden mit N=43 Teams gerechnet.

Tabelle 25: t-Test: Unterschiede zwischen den Fahrten 7 und 8

	Fahrt 7	Fahrt 8	t-Wert	r
Zeit (in s)	M = 177,28, SD = 44,48	M = 187,84, SD = 57,49	-3,247**	.45
Genauigkeit (Mio. Pixel)	M = 1,21, SD = 0,21	M = 1,25, SD = 0,18	-1,059	.16
Anstrengung	M = 35,35, SD = 11,98	M = 44,06, SD = 13,79	-7,516***	.76
Gabelungsgüte (in %)	M = 94,41, SD = 5,54	M = 93,15, SD = 3,79	1,260	.19

** p < .01 *** p < .001

Die Ergebnisse aus Tabelle 25 zeigen eine durchgängige Verschlechterung der Leistung der Mikroweltbewohner durch die erstmalige Unterstützung durch die Automatik. Davon ausgenommen ist nur die Gabelungsgüte, welche sich nicht verschlechterte sondern erwartungsgemäß konstant blieb. Nach der Konvention von Cohen (1988) zeigten sich große Effekte bei der Anstrengung, welche sich entscheidend erhöhte, und bei der Zeit. Hier stieg die Zeit von im Mittel 2,95 Minuten auf 3,13 Minuten.

In den folgenden Fahrten 9, 10 und 11 änderte sich die Länge der Strecke und die Verteilung der Gabelungen und Hindernisse, so dass ein direkter Vergleich zu den Fahrten 7 und 8 nicht mehr möglich ist. Eine Verdreifachung der Mittelwerte aus den Fahrten 7 und 8, um einen Vergleich zu den dreimal so langen Fahrten 9-11 ziehen, ist keine genaue Schätzung, da von Lern-, Anpassungs-, Ermüdungs- und Strecken- sowie anderen unbekannten Effekten ausgegangen werden muss, welche vor allem in den langen Fahrten auftreten. Aus diesem Grund wurde von diesem Vergleich abgesehen.

Dafür wurden die drei langen Fahrten 9-11 untereinander verglichen, da sie miteinander identisch sind. Die abhängigen Variablen Zeit, Genauigkeit, Anstrengung und Gabelungsgüte wurden, mit Hilfe einfaktorieller Varianzanalysen mit Messwiederholung und den Fahrten 9, 10, 11 als Faktor, auf Unterschiede untersucht. Die Voraussetzung der Sphärizität wurde mit dem Mauchly-Test geprüft und, wo sie verletzt war, die Innersubjekteffekte mit dem Greenhouse-Geisser Test korrigiert.

In Tabelle 26 sieht man bei der Zeit mittlere Effekte mit hoher Signifikanz. Die Mikroweltbewohner werden mit Fortschreiten des Expe-

Tabelle 26: ANOVA: Unterschiede zwischen den Fahrten 9, 10 und 11

	Fahrt 9	Fahrt 10	Fahrt 11	F-Wert	R ²
Zeit (in s)	M = 534,49, SD = 129,84	M = 510,15, SD = 104,21	M = 493,24, SD = 96,71	19,813 ^{***}	.321
Genauigkeit (Mio. Pixel)	M = 3,91, SD = 0,51	M = 3,87, SD = 0,49	M = 3,91, SD = 0,54	0,589	.066
Anstrengung	M = 47,02, SD = 14,09	M = 43,90, SD = 14,25	M = 44,38, SD = 16,38	5,503 [*]	.204
Gabelungs- güte (in %)	M = 94,27, SD = 2,31	M = 94,27, SD = 2,09	M = 94,70, SD = 2,06	1,018	.049

* p < .05 ** p < .01 *** p < .001

riments signifikant schneller, was in Abbildung 20 verdeutlicht wird. Die Anstrengung sinkt dabei ebenfalls signifikant.

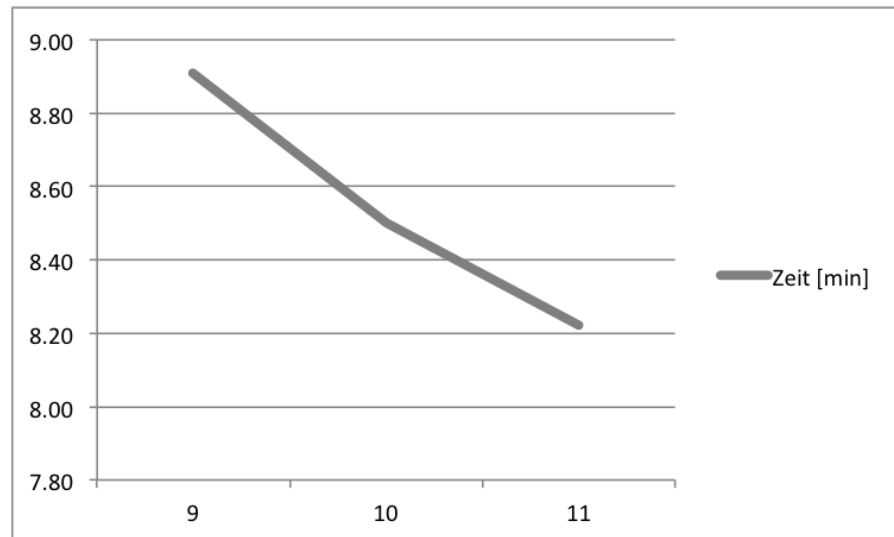


Abbildung 20: Mittelwert der Zeit in Minuten aufgetragen über die Fahrten 9, 10 und 11

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass im Hinblick auf die Hypothese 1 nicht die erwarteten Effekte eingetreten sind. Im Vergleich zur Fahrt 7, welche noch ohne Unterstützung bewältigt wurde, stieg in Fahrt 8 durch die Unterstützung der Automatik im Mittel die benötigte Zeit bei ebenfalls steigender Anstrengung signifikant. Bei den anderen Leistungsmaßen Genauigkeit und Gabelungsgüte zeigten sich keine signifikanten Unterschiede, sowohl zwischen den Fahrten 7 und 8, in welchen die Versuchspersonen das erste Mal durch eine Automatik unterstützt wurden, als auch im weiteren Verlauf des Experimentes in den Fahrten 9-11.

Wie die Automatik im Vergleich zu einer Unterstützung durch einen Operateur oder dem kooperativen Zusammenspiel von Operateur und Automatik abschneidet, soll im Folgenden untersucht werden.

4.5.3 Prüfung der H₂

Für den Vergleich von Automaten (AM) mit Operateuren (HO) und der Kooperation von Operateur und Automatik (CAM) wurden einfaktorielle Varianzanalysen ohne Messwiederholung gerechnet. Die Leistung (Zeit, Genauigkeit, Anstrengung und Gabelungsgüte) der Mikroweltbewohner wurde über die Fahrten 9-11 gemittelt und als Faktor die Art der Unterstützung gewählt. Zuvor soll aber zur Absicherung des Versuchsdesigns Genauigkeit und Zeit der Versuchspersonen der drei Studien für die Fahrt 7, welche ohne Unterstützung bewältigt wurde, analysiert werden. Erwartet werden keine Unterschiede, die Versuchspersonen sollten alle die gleiche Leistung zeigen, wenn sie nicht durch eine Assistenz (AM, HO oder CAM) unterstützt werden.

Tabelle 27: ANOVA: Unterschiede zwischen den Studien mit HO, CAM und AM in Fahrt 7

	HO	CAM	AM	F-Wert	corr. R ²
Zeit (in s)	M = 174,07, SD = 35,64	M = 191,89, SD = 46,52	M = 177,28, SD = 44,48	2,036	.017
Genauigkeit (Mio. Pixel)	M = 1,19, SD = 0,24	M = 1,19, SD = 0,23	M = 1,21, SD = 0,21	0,136	- .014

Der Unterschied zwischen den drei Studien in der Genauigkeit und Zeit der Mikroweltbewohner ist in Fahrt 7 erwartungskonform und nicht signifikant (siehe Tabelle 27).

Es folgen die Vergleiche zwischen den drei Formen der Unterstützung für die Fahrten 9-11. Für die Berechnung der Anstrengung wurde zuerst die Anstrengung beider Mikroweltbewohner zu einer Team-Anstrengung gemittelt. Anschließend wurde für den Vergleich der Mittelwert über die drei letzten Fahrten 9-11 gebildet. Von differenzierteren Berechnungen wurde zu Gunsten der Einfachheit des Mittelwertes abgesehen.

Tabelle 28 fasst die Ergebnisse zusammen und zeigt keinen Unterschied zwischen den unterschiedlichen Formen der Unterstützung in Bezug auf Zeit, Anstrengung und Gabelungsgüte. Ein post-hoc Test mit Bonferroni-Korrektur ergab bei der Genauigkeit zwischen HO und CAM ($p < .001$) sowie zwischen HO und AM ($p < .001$) signifikante Unterschiede. Die Unterstützungsformen CAM und AM unterscheiden sich aber nicht.

Zusätzlich zu den Leistungsmaßen wurden sich exploratorisch weitere Kennzahlen von SAM analysiert, um so mehr Einblick in die zu Grunde liegenden Prozesse zu gewinnen und weitere Varianz aufzuklären.

Tabelle 29 zeigt weitere Unterschiede zwischen den Unterstützungsformen. Dabei sind Kollisionen und die Anzahl der Eingriffe exem-

Tabelle 28: ANOVA: Unterschiede zwischen den Studien mit HO, CAM und AM in Fahrt 9, 10 und 11

	HO	CAM	AM	F-Wert	korr. R ²
Zeit (in s)	M = 470,75, SD = 75,48	M = 486,39, SD = 91,44	M = 512,63, SD = 108,33	2,153	.02
Genauigkeit (Mio. Pixel)	M = 5,24, SD = 1,23	M = 3,69, SD = 0,48	M = 3,89, SD = 0,47	45,419 ^{***}	.419
Anstrengung	M = 40,86, SD = 10,37	M = 40,21, SD = 9,39	M = 45,21, SD = 14,15	2,328	.021
Gabelungs- güte (in %)	M = 94,64, SD = 2,37	M = 94,39, SD = 2,63	M = 94,42, SD = 1,70	0.147	-.014

*** p < .001

Tabelle 29: ANOVA: Unterschiede zwischen den Studien mit HO, CAM und AM in Fahrt 9, 10 und 11

	HO	CAM	AM	F-Wert	korr. R ²
Kollisionen	M = 0,67, SD = 0,40	M = 0,56, SD = 0,34	M = 0, SD = 0	60,567 ^{***}	.492
Anzahl Eingriffe	M = 8,70, SD = 18,78	M = 6,12, SD = 6,26	M = 133,26, SD = 35,89	387,878 ^{***}	.863
Benotung durch MWB	M = 3,67, SD = 0,93	M = 3,40, SD = 1,04	M = 4,20, SD = 1,09	6,599 ^{**}	.083

** p < .01 *** p < .001

plarisches für die Eigenschaften der Automatik. Dabei ergab der post-hoc Test mit Bonferroni-Korrektur bei den Kollisionen einen signifikanten Unterschied zwischen den HO und AM ($p < .001$) sowie CAM und AM ($p < .001$). Die Automatik hat absolut fehlerfrei gearbeitet und jede mögliche Kollision verhindert, während bei der Unterstützung durch Operateure mit oder ohne Automatik diese noch aufgetreten sind (jedoch kein Unterschied zwischen diesen beiden Formen der Unterstützung). Die Anzahl der Eingriffe in die Steuerung durch die Automatik sind sehr hoch, denn die Automatik verhielt sich entscheidend anders als der Operateur, und so ergab der post-hoc Test mit Bonferroni-Korrektur einen signifikanten Unterschied zwischen HO und AM ($p < .001$) sowie zwischen CAM und AM ($p < .001$). Zwischen den beiden Formen des Operateurs bestand wiederum kein Unterschied.

Die am Ende des Versuches durchgeführte Bewertung nach dem Schulnotensystem durch die Versuchspersonen zeigte nach einem post-hoc durchgeführten Test mit Bonferroni-Korrektur einen signifikanten Unterschied zwischen CAM und AM ($p < .01$), keinen Unterschied

dagegen zwischen HO und CAM sowie HO und AM.

Als Fazit lässt sich festhalten, dass die Automatik sich im Vergleich zu Operateuren erwartungskonform verhält. Sie macht mehr Eingriffe und verhindert zuverlässig alle Kollisionen. Sie schneidet schlechter ab in der Benotung durch die Versuchspersonen.

Als letztes sollen die Ergebnisse des Fragebogens für Kontrollerleben der $N = 87$ Versuchspersonen berichtet werden. Dafür wurde eine einfaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholung gerechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 30 dargestellt. Dabei zeigen hohe Werte an, dass eine geringe externe Kontrolle über den eigenen Tätigkeitsspielraum erlebt wurde, z.B. wenn eine Automatik sehr viel Einfluss nahm auf die Entscheidungen der Probanden oder oft und merklich in das Fahrverhalten eingriff.

Tabelle 30: ANOVA: Unterschiede im Erleben von Kontrollverlust in den Fahrten 6-11

	Fahrt 6	Fahrt 7	Fahrt 8	Fahrt 9	Fahrt 10	Fahrt 11	F-Wert	corr. R ²
M	30,62	34,11	39,48	37,02	34,25	33,56	26,358***	.235
SD	7,90	8,04	9,21	8,48	8,64	8,83		

*** $p < .001$

Ein post-hoc Test mit Bonferroni-Korrektur ergab beim Erleben des Kontrollverlustes keine signifikanten Unterschiede zwischen den Fahrten 7 und 10, 7 und 11, 10 und 11 sowie zwischen den Fahrten 8 und 9. Ansonsten unterschied sich das Erleben des Kontrollverlustes zwischen den Fahrten stets signifikant. Dabei stieg es in den frühen Fahrten an, erreichte in den Fahrten 8 und 9 sein Maximum und senkte sich dann in den späteren Fahrten auf das Niveau der Fahrt 7 ab. Siehe dazu auch Abbildung 21.

Zusammenfassend hat die Studie ergeben, dass die getestete Automatik in der Lage war, die Genauigkeit zu verbessern und dafür die benötigte Zeit und Anstrengung nicht zu verschlechtern. Dafür benötigte sie eine sehr hohe Anzahl an Eingriffen, erzeugte so ein erhöhtes Erleben von Kontrollverlust, welches aber als vergleichsweise niedrig einzuschätzen ist. Der Übergang zwischen den Fahrten 7 und 8, also beim erstmaligen Einsatz der Automatik, ergaben sich aber Schwierigkeiten für die Versuchspersonen, die von den Entwicklern so nicht vorhergesehen wurden. Die Versuchspersonen empfanden eine erhöhte Anstrengung und erlebten einen erhöhten Verlust der Kontrolle auf ihre eigenen Handlungen. Auch die benötigte Zeit erhöhte sich signifikant, ohne dass die Genauigkeit dabei gesteigert werden konnte. Im weiteren Verlauf des Experimentes blieben diese Kennwerte von SAM (Genauigkeit, Zeit, Anstrengung) stabil ohne signifikante Unterschiede.

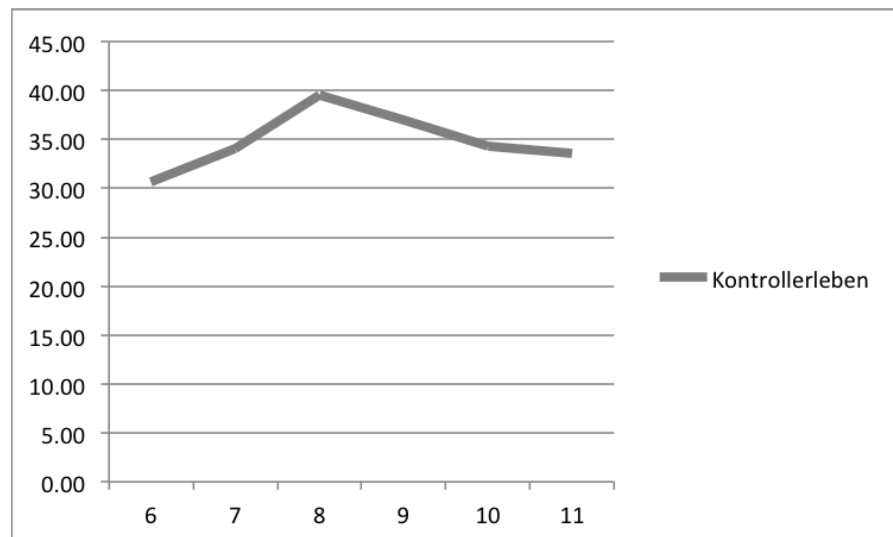


Abbildung 21: Mittelwert des Erlebens von Kontrollverlust aufgetragen über die Fahrten 6-11

4.6 DISKUSSION

Für den Vergleich zwischen Operateuren und Automatikkonzepten von Entwicklern wurde das Konzept, welches als bestes identifiziert wurde, für die Laborstudie umgesetzt, nachdem es durch ein umfangreiches und kompliziertes Bewertungsverfahren aus 30 unterschiedlichen Konzepten ermittelt wurde. Die Ergebnisse des Vergleiches sind gemischt und vermutlich vor allem auf die Eigenschaften dieser speziellen Automatik in Verbindung mit den Eigenschaften der Strecke zurückzuführen.

Die Genauigkeit konnte im Vergleich zur Studie mit Operateuren (HO) entscheidend verbessert werden, weil das Konzept durch die Automatikfunktion der Umverteilung des Steuerungsanteils demjenigen Mikroweltbewohner, der genau fahren sollte, den Großteil der Strecke mehr Steuergewalt gab. Folglich verbesserte sich die Genauigkeit signifikant. Im Vergleich zu CAM dagegen konnte kein Unterschied gefunden werden.

Die Zeit dagegen veränderte sich nicht signifikant im Vergleich zu den Studien HO und CAM, obwohl das Automatikkonzept ebenso vorsah, dem Mikroweltbewohner mit der Instruktion, schnell zu fahren, auf geraden Streckenteilen mehr Steuergewalt zu geben. Diese kommen aber auf der sehr kurvigen Strecke von SAM so selten vor, dass nur das langsame und genaue Fahren in Kurven ausgeglichen, aber keine Verbesserung der Zeit im Vergleich zu anderen Studien erzielt werden konnte. Diese Eigenschaft der Automatik wurde von den Entwicklern in diesem Umfang nicht antizipiert bzw. die Streckeneigenschaften in der kurzen Zeit der Konzeptentwicklung vermutlich nicht vollständig erfasst. Diese prägende Eigenschaft der Automatik ließe sich beim Selbstversuch relativ schnell erfassen, eine implementierte Version stand den Entwicklern aber nicht zur Verfügung, um dieser Fehleinschätzung vorzubeugen.

Die sehr hohe Anzahl an Eingriffen der Automatik ist für diese wie für viele anderen Automaten bezeichnend. Ein Operateur kann diese Frequenz an Eingriffen, wenn überhaupt, nur für einen kurzen Zeitraum aufrecht erhalten. Dies ist ein klarer Vorteil der Automatik.

Die Anstrengung der Mikroweltbewohner blieb dafür im Vergleich zu den beiden Studien HO und AM unverändert. Eine mögliche Erklärung könnte sein, dass dies mit dem fehlenden Feedback über diese hohe Anzahl der Eingriffe und der Tatsache, dass diese zwar schnell und in hoher Frequenz, aber trotzdem sanft und unmerklich vorgenommen wurden, zusammenhängt. So konnte der Eindruck entstehen, dass gar keine Automatik aktiv war und das in fast allen Fällen ein auftretendes verändertes Fahrverhalten auf den Partner zurückgeführt werden konnte. Die beiden MWB wurden durch die Automatik nicht auf dem Laufenden gehalten (out of the loop effect Norman (1990)). Dies führte im Übergang zwischen Fahrt 7 und 8 zu einer signifikanten Erhöhung der Anstrengung, als die Automatik in Fahrt 8 zum ersten Mal aktiv eingriff. Im Vergleich zu den Studien mit HO und CAM blieb die Anstrengung dann unverändert. Das fehlende Feedback der Automatik und das so entstandene Gefühl, trotz der Ankündigung einer Unterstützung durch die Automatik mit der Aufgabe alleine gelassen worden zu sein, führten vermutlich zu einer schlechten Benotung der Automatik durch die Probanden. Diese Assistenz ist im Vergleich zur Studie mit kooperativer Unterstützung (CAM) signifikant schlechter bewertet worden. Das unscheinbare Eingreifen der Automatik ohne Feedback hat dafür den Vorteil, dass es keine Probleme mit der Zuweisung von Verantwortlichkeit gibt (Rouse, 1981). Bei Eingriffen zur Vermeidung von Kollisionen mit Hindernissen haben die MWB keine Kontrolle über das Fahrobjekt und somit ist die Verantwortung klar auf Seiten der Automatik. Ein Feedback zu dieser Automatik würde also einen rein informativen Charakter besitzen und möglicherweise zu schwerwiegenden Problemen und Anpassungsschwierigkeiten führen, sollte die Automatik unerwartet ausfallen (Li, Wickens, Sarter & Sebok, 2014).

Eine weitere entscheidende Eigenschaft der getesteten Automatik ist Fehlerfreiheit. Die Automatikfunktionen zur Kollisionsvermeidung funktionierten zu 100% zuverlässig und reduzierten die Anzahl der Kollisionen auf Null. Auch hier gab es kein Feedback zu den minimalen Eingriffen der Automatik, so dass die Wirkungsweise mit hoher Wahrscheinlichkeit unbemerkt blieb. Eine erhöhte Risikobereitschaft in Situationen mit Hindernissen konnte nicht festgestellt werden, genauso hatte es keinen merklichen Einfluss auf die Zeit der Mikroweltbewohner. Da es bereits ohne Einsatz der Automaten zu sehr wenigen Kollisionen in Fahrt 7 kam, konnte durch das Verhindern der Zeitstrafe nach Kollisionen sowie das Setzen neben die Strecke keine Verbesserung der Leistung (Genauigkeit und Zeit) erzielt werden.

Zusammenfassend kann die Hypothese 2 nur teilweise bestätigt werden. H2.1 kann für die Vergleich zwischen HO und AM sowie zwischen HO und CAM bestätigt werden. Die Genauigkeit wurde im Vergleich zur Studie mit Operateuren durch Automaten oder

kooperative Zusammenarbeit von Automatik und Operateur signifikant verbessert. Hypothesen H2.2 und H2.3 können dagegen nicht bestätigt werden, da die benötigte Zeit und die empfundene Anstrengung sich nicht signifikant zwischen den drei Studien unterscheidet.

Ein interessanter Effekt, der sich in der Untersuchung deutlich gezeigt hat, ist die Verschlechterung der Leistung während der Umstellung auf die Unterstützung durch eine Automatik. Die Mikroweltbewohner werden signifikant langsamer und sind stärker angestrengt, können aber die Genauigkeit konstant halten. Die Automatik bevorzugt die Genauigkeit gegenüber der Schnelligkeit, was zwar den Erwartungen entspricht, interessanter ist aber, dass es zu einer deutlichen Verschlechterung der Teamleistung kommt und dies nicht von den Entwicklern antizipiert wurde. In den gemeinsamen Fahrten ist es den Probanden offenbar gelungen, ohne miteinander verbal zu kommunizieren einen gemeinsamen Fahrstil zu entwickeln, sich bei Gabelungen für eine der beiden Abzweigungen zu entscheiden und Hindernissen auszuweichen. Diese schnelle Anpassung war in der Form sogar während der Entwicklung von SAM nicht antizipiert worden. Man ging eher davon aus, dass durch die kooperative Aufgabe, bei der eine verbale Kommunikation und Abstimmung bspw. bei Gabelungen nicht erlaubt wurde, die Aufgabe entscheidend an Komplexität gewänne und so hoher Unterstützungsbedarf bei den Mikroweltbewohnern bestünde. In dieser ersten Studie mit Automaten hat sich erstmals relativ deutlich gezeigt, dass dies nicht der Fall war.

Eine Erklärung kann in der Joint Action Forschung gefunden werden. Der Mensch ist durch seine soziale Anpassungsfähigkeit in der Lage, zu beobachtetem Verhalten entsprechende ergänzende Aktionen zu finden (Bicho, Erlhagen, Louro & e Silva, 2011). Die Leistung eines Teams wird dadurch verbessert. Beispiele findet man im Alltag, bspw. beim Decken eines Esstisches. Hier kann man beobachten, dass der Unterscheid zwischen dem Absetzen einer Tasse und dem Weiterreichen einer solchen vom helfenden Partner erkannt und entsprechend reagiert wird.

Andere Beispiele lassen sich im kulturellen Umfeld z.B. beim gemeinsamen Musizieren im Orchester (Goebel & Palmer, 2009) oder Singen im Chor finden. So müssen sich Musiker im Orchester sowohl auditiv aufeinander abstimmen, aber auch die zeitliche Synchronisation der motorischen Aktionen beim Spielen eines Instruments sind entscheidend (Keller, 2008). Spielt jemand zu schnell, muss er seine eigene Geschwindigkeit der Geschwindigkeit anderer Mitglieder des Orchesters anpassen. Die Synchronisierung von Abläufen wurde bspw. mit Schaukelstühlen untersucht und es konnte gezeigt werden, dass sich zwei Personen unbewusst einander in ihrer Schaukelbewegung anpassen (Richardson, Marsh, Isenhowe, Goodman & Schmidt, 2007). Synchronität ist eine oft genutzte Form der Kooperation zwischen Menschen (Valdesolo, Ouyang & DeSteno, 2010).

Auf SAM bezogen bedeutet dies, dass die MWB sich in ihrem Fahrverhalten annähern oder unter Umständen die Entscheidung, vor Ga-

belungen links oder rechts zu fahren durch ein Beobachten der Joystickbewegungen des Partners antizipieren. Es wurden vom Versuchsleiter der Studie einige Teams beobachtet, die sehr synchrone Bewegungen am Joystick vollführten und eine gute Teamleistung erzielten. Auch kann so ein schlechtes oder extremes Lenken des Joysticks vom Partner ausgeglichen werden.

Eine sehr angepasste und eingespielte Teamleistung kann so durch das Einsetzen einer Automatik empfindlich gestört werden. Dadurch steigt die Anstrengung, da sich das Team erneut einspielen muss, obwohl es bereits ein gutes gemeinsames Vorgehen zur Bewältigung der Aufgabe gefunden hatte.

Der Operateur hingegen hat einen klaren Vorteil in solchen Situationen, da er sich ebenfalls mit den Mikroweltbewohnern durch Beobachtungen in Echtzeit synchronisieren kann. Merkt dieser, dass das Team einen bestimmten Rhythmus gefunden hat und seine Ansprüche an eine gute Leistung erfüllt werden, kann er sich zurücknehmen und das System arbeiten lassen bis Fehler auftreten. Eine Automatik kann sich nur einstellen, wenn es von den Entwicklern so vorgesehen wurde. In allen Konzepten aus den Studien von Saskia Kain und des Autors wurden keine Automaten konzipiert, die sich derart mit dem Verhalten der Mikroweltbewohner synchronisieren. Es wurde vermutlich angenommen, dass, wenn die MWB alles richtig machen, die Automatik nicht eingreifen muss und wird. Einige Konzepte, so wie auch das in der Studie getestete, orientieren sich aber an den Streckeneigenschaften und nicht am Verhalten der MWB. So kommt es zu einem konstanten und in diesem Fall störenden Eingreifen, welches die Versuchspersonen überraschte (automation surprises nach Sarter et al. (1997)).

Eine Möglichkeit der Verbesserung von Automaten bestünde also darin, den Übergang zwischen Fahrten ohne Unterstützung und das Einschalten einer Automatik im Konzept gezielt zu unterstützen. Dies kann sowohl durch visuelles oder auditives Feedback über das Eingreifen von Automaten geschehen oder durch ein Anpassen der Automatik an das Verhalten der Mikroweltbewohner. Die MWB hätten so eine bessere Chance, die Eingriffe nachzuvollziehen und entsprechend darauf zu reagieren.

Auch dies antizipierten die Entwickler nicht ausreichend und so griffen die Automaten ohne Rückmeldung in das eingespielte Team ein und schlugen z.B. an Gabelungen eine Richtung vor, die eventuell konträr zu der ist, die die Mikroweltbewohner für sich im Team als die günstigste erarbeitet hatten. So entsteht eine neue Entscheidungssituation, nämlich die Entscheidung, der Automatik zu folgen oder den Weg zu wählen, den man als Team bereits seit drei Gabelungen gewählt hat. Beide Mikroweltbewohner müssen sich erneut synchronisieren und neu entscheiden.

Die Automaten bieten noch Raum für Verbesserungen und weitere Untersuchungen mit verschiedenen Automaten, die gezielter auf die Bedürfnisse und Eigenschaften der Probanden eingehen sowie ein besseres Feedback vorsehen, könnten die Ergebnisse dieser

ersten Studie bestätigen und weitere Erkenntnisse für die Erstellung von Unterstützungssystemen für Menschen bringen.

Dafür wäre es sinnvoll, die verschiedenen Fragebögen, Skalen und Einzelfragen für die Laborstudie weiter zu verbessern und in ein einziges Produkt zu integrieren, welches flexibel genug ist, für neue Fragestellungen angepasst zu werden. So kann sich der Versuchsleiter weiter aus dem Ablauf der Untersuchung zurückziehen. In der durchgeführten Studie entstand so vermutlich ein Einfluss auf die Probanden, der möglicherweise zu einer höheren Motivation führte und zusätzliche Varianz in den Ergebnissen erzeugte, ansonsten aber keine erkennbare Effekte hatte. Diese Verbesserungen können die Replizierbarkeit und die Durchführung von Untersuchungen vereinfachen und Effekte deutlicher werden lassen. So könnte die Versuchsdurchführung stärker automatisiert werden und durch die Versuchspersonen fast eigenständig durchgeführt werden. So könnten mehrere Probandenteams gleichzeitig oder geringfügig zeitlich versetzt getestet werden. Der Versuchsleiter müsste so lediglich die Begrüßung und das Aufklären der Probanden nach dem Versuch übernehmen.

ZUSAMMENFASSUNG & AUSBLICK

Für die Beantwortung der Fragestellung aus dem Bereich der Funktionsteilung zwischen Mensch und Maschine wurde im Projekt Arbeitsteilung Entwickler Operateur (ATEO) die Perspektive des Entwicklers von Automaten im Vergleich zur Leistung eines Menschen als Operateur von komplexen dynamischen Prozessen, wie sie beispielsweise in der Flugüberwachung oder im Kernkraftwerk zu finden ist, erstmals näher betrachtet (Cummings & Thornburg, 2011). Um einen Vergleich zwischen diesen beiden Gruppen empirisch durchzuführen, wurden Zeit und Art der Informationen bzw. der Informationsquellen als Ressourcen identifiziert, welche beide gemeinsam nutzen. Im Rahmen zweier Dissertationen von Nachtwei (2010) und von Bernstorff (2014) wurde ein Operateursarbeitsplatz (ATEO Master Display AMD) entwickelt, welcher in Bezug auf die Ressourcen Zeit und Informationsquellen optimale Bedingungen für den Operateur schafft, um im Zuge einer empirischen Studie die Leistung der am AMD trainierten Versuchspersonen mit der von Automaten zu vergleichen. Diese Automaten wurden im Rahmen von Dissertationen von Krinner (2008) und Saskia Kain sowie vom Autor selbst im Rahmen von qualitativen Studien unter Variation der beiden Ressourcen Zeit und Informationsquellen entwickelt. Gesucht wurde ein sehr gutes Automatenkonzept für die empirische Vergleichsstudie. Saskia Kain liess 30 Konzepte von professionellen Entwicklern aus Industrie und Forschung erstellen und untersuchte dabei den Einfluss verschiedener Informationsquellen. Dabei konnten keine signifikanten Effekte nachgewiesen, aber durch ein eigens entwickeltes Bewertungssystem die Qualität der Konzepte ermittelt werden. Mit der vorliegenden Dissertation ist es gelungen, in einem Seminar bzw. Bachelorprojekt mit Informatikstudenten der Humboldt-Universität zu Berlin, weitere zehn Automatenkonzepte entwickeln zu lassen. Diesmal hatten die Studenten im Vergleich zu den professionellen Entwicklern aus der vorher beschriebenen Studie mehr Zeit, nämlich drei Wochen im Vergleich zu zwei Stunden. Erneut wurde die Qualität mit dem entwickelten Bewertungssystem ermittelt und im folgenden Schritt mit der Qualität der Konzepte professioneller Entwickler verglichen. Dabei zeigten sich keine signifikanten Unterschiede, was dafür spricht, dass die Studenten trotz der fehlenden Berufserfahrung im Vergleich zu professionellen Entwicklern genauso gut in der Lage sind, Automatenkonzepte zu entwickeln, wenn sie mehr Zeit dafür bekommen. Neun von zehn der studentischen Entwicklerteams implementierten und testeten ihre Automaten im Rahmen der Lehrveranstaltung, wodurch sich die Qualität der Konzepte aber nicht verbesserte. Lediglich der Detailgrad erhöhte sich und die Automaten wurden variantenreicher. Hierfür gibt es aber auf Grund der qualitativen Natur der Daten keinen empirischen Nachweis.

Für den empirischen Vergleich von Operateuren und Automaten mussten zuerst die softwaretechnischen Grundlagen geschaffen werden. Die ATEO Experimental Suite (AES) umfasste bereits das AMD sowie den zentralen Prozess SAM (Socially Augmented Microworld) als Tracking-, Manöver- und Navigationsaufgabe mit sozialer Komponente, welcher zur Messung der Leistung von Operateuren und Automaten entwickelt wurde. In mehrjähriger Entwicklungszeit wurde das AES um ein ATEO Automation Framework (AAF), eine dazu passende Konfigurationsoberfläche (AAFGT) und 31 einsetzbare Automatenfunktionen, welche aus den Automatenkonzepten der Studie von Saskia Kain stammten, erweitert. Aus der bereits erwähnten Studie des Autors mit Studenten der Informatik entstanden neun weitere implementierte Konzepte, die sich aber vor allem auf die Gabelungssituation in SAM konzentrierten.

Die Wahl für einen ersten Vergleich fiel jedoch auf ein sehr gut bewertetes Automatenkonzept der Studie von Saskia Kain. In der Laborstudie zeigte sich im Vergleich zu den Studien von Nachtwei (2010) und von Bernstorff (2014), dass bei gleichbleibender Geschwindigkeit und subjektiv empfundener Anstrengung die Genauigkeit der Versuchspersonen beim Bewältigen der Trackingaufgabe durch die Eingriffe der Automaten verbessert werden konnte. Dafür griff die Automaten sehr viel häufiger ein als ein Operateur und arbeitete ohne Ausfall, was sich an der verringerten Anzahl der Kollisionen bemerkbar machte. Die Automaten verhinderte jede Kollision mit den Hindernissen auf der Strecke. Entwickler waren also imstande, die Leistung von Operateuren durch Automaten zu replizieren und in bestimmten Teilbereichen sogar zu übertreffen. Dabei hing es sehr stark davon ab, welche Probleme antizipiert und durch Automaten angesprochen wurden. Die Entwickler der getesteten Automaten hatten die Streckeneigenschaften von SAM nur marginal berücksichtigt oder falsch eingeschätzt. Die Folge war eine starke Verschiebung der Verantwortung auf die Versuchsperson, welche den Auftrag bekommen hatte, vor allem genau zu fahren. Die andere eher schnell fahrende Versuchsperson verlor über weite Strecken des Versuchs die Kontrolle über das Fahrobjekt. Dieser Kontrollverlust konnte aber mit dem eigens für diese Studie entwickelte Fragebogen zur Erhebung von Kontrollerleben nicht nachgewiesen werden.

Die Leistung des eingespielten Teams verschlechterte sich in fast allen Kennzahlen beim erstmaligen Unterstützen durch die Automaten. Dies spricht gegen den Einsatz der Automaten, zumindest gegen den Einsatz dieser speziellen. Die Entwickler haben diese Situation entweder nicht antizipiert oder die Folgen der Automaten zu Gunsten der Leistungsoptimierung des Gesamtsystems bewusst in Kauf genommen. Hier kann man für weiterführende Studien Konzepte testen, die entweder diesen Übergang berücksichtigen oder adaptive Automaten vorsehen, die sich an der Anstrengung oder am Verhalten der Versuchspersonen orientieren und nicht an den Eigenschaften der Strecke. Die eingesetzte Automaten wurde am Ende des Versuchs von den Versuchspersonen entsprechend negativ bewertet, was vor allem auf fehlendes Feedback zur Funktionsweise und den vor-

genommenen Eingriffen zurückzuführen war. Hier muss ein besseres Zusammenspiel zwischen Mensch und Maschine in der Entwicklung angestrebt (Christoffersen & Woods, 2002) und die Wirkungsweise der eingesetzten Automaten transparenter gemacht werden (Norman, 1990). Das fehlende Feedback zeigt sich dann im positiven Sinne bei der Bewertung der erlebten Kontrolle. Hier wurde durchweg angegeben, dass sich die Versuchspersonen durch externe Automaten nicht kontrolliert gefühlt haben, sondern selbst kontrollieren konnten, wie sie in wichtigen Situationen reagieren möchten. Es hat sich deutlich in dieser Studie mit Automaten gezeigt, dass die Versuchspersonen in der Lage sind, bei Gabelungen und Hindernissen nonverbal Entscheidungen zu treffen und diese Situationen zu meistern. Es war den Versuchspersonen im Durchschnitt möglich, eine sehr gute Leistung ohne eine Unterstützung durch Automaten zu erzielen. Ein guter Operateur kann diese Tatsache erkennen und die Eingriffe und Hinweise an die MWB reduzieren. Entwickler haben eine gute eigenständige Leistung der MWB bisher nicht antizipiert, so dass Automaten darauf nicht reagierten.

Das AES macht es im Folgenden möglich, verschiedene Fragestellungen und Hypothesen zu testen. Insbesondere können und müssen weitere Automaten eingesetzt werden, um neue Erkenntnisse über eine mögliche Funktionsteilung zwischen Mensch und Maschine zu erhalten. Dabei können vorhandene Automatenkonzepte aus den beiden Studien mit professionellen und studentischen Entwicklern genutzt oder neue Konzepte entwickelt werden. Im Folgenden sollen weitere Studien vorgestellt werden, die mit Hilfe des AES durchgeführt werden können.

5.1 AUSBLICK

5.1.1 *Vergleich zwischen studentischen und professionellen Entwicklern*

Für einen Vergleich zwischen studentischen und professionellen Entwicklern wäre der Einsatz der Automaten der Studie des Autors im Labor wichtig, auch wenn diese sich lediglich auf die Gabelungssituationen konzentrieren. Diese Einschränkung kann entweder in der Auswertung berücksichtigt und für den Vergleich nur die lokale Leistung vor, während und nach Gabelungen analysiert werden. Alternativ können die Konzepte der Studenten mit den Automaten des Vergleichskonzepts professioneller Entwickler aufgefüllt werden, die sich ausschließlich auf die weiteren Situationen wie Hindernisse konzentrieren. Beide Ansätze würden einen spannenden Vergleich ergeben. Auch wäre denkbar, mit studentischen Entwicklern Konzepte zu erstellen, welche nicht mehr nur auf die Gabelungen beschränkt sind. Hier könnte erneut mit mehreren Messzeitpunkten gearbeitet und die Qualität der Konzepte nach 2 Stunden, nach 3 Wochen und nach 5 Wochen erfasst werden. Die Konzeptphase kann ohne den Rahmen eines Seminars durchgeführt werden, wenn den Entwicklerteams an

aufeinander folgenden Tagen Zeit für die Konzeption gegeben wird. Wichtig für den Vergleich wäre nur eine ähnliche Zeitdauer für die Konzepte vorzugeben. So könnte zusätzlich besser kontrolliert werden, wie viel Zeit den Versuchspersonen zur Verfügung steht. Die Implementierung und der Einsatz im Labor wäre wünschenswert.

Wenn sich herausstellen würde, dass die studentischen Automaten eine signifikant bessere Leistung erbringen, würde dies den Einsatz studentischer Entwickler für weitere Studien im ATEO-Kontext stärker rechtfertigen. Der Aufwand der Akquise professioneller Entwickler kann so reduziert werden.

5.1.2 *Zusammengefügte Konzepte*

Weitere Konzepte für einen Gruppenvergleich zwischen Operateur und Entwickler können gewonnen werden, wenn aus allen vorhandenen implementierten oder konzipierten Konzepten die besten Automatikfunktionen ausgewählt und kombiniert werden. So entsteht ein synthetisches Konzept, welches tatsächlich so von den Entwicklern nicht vorgesehen war, aber unter Umständen eine bessere Leistung erbringen kann. Grundlage für die Auswahl könnte die Fachliteratur oder die Qualität der Automatikfunktionen sein, wie sie durch das Bewertungssystem von Saskia Kain ermittelt werden kann.

5.1.3 *Erkenntnisgestützte Automatikkonzepte*

Ein weiteres Automatikkonzept könnte aus den Erkenntnissen der durchgeführten Studien entstehen. Es wäre eine Automatik denkbar, die vor Gabelungen nicht mehr eine Richtung angibt, wenn sich in den vorherigen Gabelungssituationen eine präferierte Abzweigung bei den MWB erkennen lässt. In diesen Fällen würde die Warnung, dass eine Gabelung erscheinen wird, ausreichen, die Versuchspersonen auf die kommende Entscheidung einzustellen. Sollten die Versuchspersonen wider Erwarten zwischen zwei Abzweigungen fahren, muss die Automatik eine von beiden Abzweigungen vorschlagen, damit sie in dieser kurzen Phase der Desorientierung bestmöglich beraten werden und schnell zur Fahrbahn zurücksteuern können. In die dem Vorschlag entgegengesetzte Richtung soll dann die Lenkung erschwert werden. Als Feedback für die Eingriffe in Gabelungssituationen könnte das Fahrobjekt eingefärbt werden. In Situationen mit Hindernissen ist ebenfalls ein Warnhinweis sinnvoll, um auch hier auf kommende Gefahrensituationen hinzuweisen.

Wenn die Versuchspersonen von der Strecke abkommen, zum Beispiel in Kurven, kann eine Automatik immer stärker werdend in Richtung der Strecke lenken, je stärker sie abgekommen sind. So entsteht das Gefühl, zur Strecke zurückgedrängt zu werden und das starke Abkommen kann frühzeitig verhindert werden. Gleichzeitig kann die Geschwindigkeit reduziert werden, was ein zu starkes Gegenlenken ausgleichen könnte, da so unter Umständen erneut durch ruckartiges Steuern die Fahrbahn verfehlt würde.

In regelmäßigen Abständen und nach Gabelungen und Hindernissen kann auditiv gelobt werden, wenn diese besonders gut gelöst wurden. Als Gütekriterien können die Genauigkeit und Geschwindigkeit herangezogen werden, welche den Mikroweltbewohnern als visuelles Feedback zurückgemeldet wird. Wenn die Leistung verbessert werden kann, hilft auditives Feedback, welches abhängig von der individuellen Fahrinstruktion gegeben wird. Wird in Kurven zu langsam gefahren, dann soll ein Hinweis, schneller zu fahren, an den MWB gegeben werden, der besonders genau fahren soll. Wird die Genauigkeit zu stark vernachlässigt, soll an den MWB, der instruiert wurde, schnell zu fahren, ein Hinweis gegeben werden, genauer zu fahren.

Dieses Konzept konzentriert sich stärker auf das Verhalten der Versuchspersonen in Kombination mit wichtigen Streckenelementen und berücksichtigt die bereits gute Leistung der MWB aus den Trainingsfahrten. Beispielsweise wird in Gabelungen ein eingespieltes Team besser unterstützt, indem keine neue Richtung vorgegeben wird, wenn die MWB keine Probleme bei der Entscheidungsfindung haben.

5.1.4 *Operateure als Entwickler*

Weitere Konzepte könnten von ehemaligen Operateuren konzipiert werden. Hier wäre interessant zu sehen, welche Situationen diese antizipieren und durch die Automaten abdecken, da sie über spezielle Erfahrungen verfügen. Diese könnten in der Qualität mit anderen Automatenkonzepten verglichen und im Labor getestet werden. So können zusätzlich Automatenfunktionen identifiziert werden, die für eine kooperative Zusammenarbeit von Mensch und Maschine in Frage kommen.

5.1.5 *Ältere Menschen als MWB oder Entwickler*

Eine weitere Personengruppe, welche als Mikroweltbewohner oder sogar als Entwickler von Automatenkonzepten getestet werden kann, sind ältere Menschen. Diese rücken durch ihre Lebenserfahrung andere Aspekte des Fahrens bei der Entwicklung in den Fokus oder müssen durch Automaten unter Umständen anders unterstützt werden. Dies birgt neue Herausforderungen für Entwickler von Automation. Die Ergebnisse können einen Beitrag zur Funktionsteilung zwischen älteren Menschen und Maschinen leisten. Dies ist vor allem im Automobilbereich praktisch relevant und mit dem bevorstehenden oder bereits voranschreitenden Demographiewandel von steigender Bedeutung.

5.1.6 *Methodische Verbesserungen*

Um die oben aufgeführten Studien effizient durchführen zu können, sollten das methodische Vorgehen und die Werkzeuge weiter verbessert werden. Da das Bewertungssystem immer dann eine Rolle spielt,

wenn neue Konzepte erstellt werden und diese mit anderen bestehenden Konzepten verglichen werden sollen, wird es auch zukünftig häufig angewendet werden müssen. Bisher ist das Ermitteln der Qualität der Konzepte sehr zeitaufwendig und mühsam. Eine Vereinfachung des Prozesses oder die Reduktion der Bewertungsitems könnte dies potentiell verbessern. Dafür könnten bestimmte Funktionsblöcke, die in vielen Konzepten immer wieder kehren, als solcher Block bewertet werden. Damit könnte Zeit gespart und die Bewertung vereinheitlicht werden. Diese Funktionsblöcke könnten die Grundlage für einen Bewertungsleitfaden sein.

Wenn die Automaten von den unterschiedlichsten Entwicklerteams konzipiert wurden und deren Leistung im Labor getestet werden soll, können die Mikroweltbewohner in SAM durch Agenten mit künstlicher Intelligenz ersetzt werden. Dies würde sowohl Zeit als auch Geld sparen. Tatsächlich wird in diesem Bereich bereits geforscht und erste Arbeiten sind in Jahn und Schneider (2012) sowie Burkhard et al. (2011) dokumentiert. Der Ansatz hierbei ist, das Verhalten realer Mikroweltbewohner zu analysieren und mit Hilfe von Zeitreihenanalysen mit dem Fahrverhalten künstlicher Agenten zu vergleichen (Kurbalija et al., 2012).

Mit diesen fortführenden Studien und methodischen Verbesserungen ist es möglich, einen entscheidenden Beitrag zur Diskussion der Funktionsteilung zwischen Menschen und Maschinen zu leisten. Dabei sollten die Entwickler von Automaten stärker in den Vordergrund gestellt und die Vor- und Nachteile dieser Funktionsteilung kritisch diskutiert werden. Dabei zeigte der Artikel der Süddeutschen Zeitung (Berndt, 2013), dass das Thema aktuell einseitig diskutiert wird. In der Forschung sind die Probleme, welche mit der Automation einhergehen, bekannt, aber zu großen Teilen unerforscht, so dass weitere empirische Studien durchgeführt werden müssen. Die vorliegende Arbeit leistet dafür einen wichtigen Beitrag, da sie nicht nur die nötigen Werkzeuge zur Verfügung stellt, sondern auch in ersten Studien zeigen konnte, wie eine Arbeitsteilung zwischen Operateuren und Entwicklern effizient und effektiv gestaltet werden kann.

LITERATURVERZEICHNIS

- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19 (6), 775-779.
- Berndt, C. (2013, August). Weniger Mensch, bitte! *Süddeutsche Zeitung*, V2/1.
- Bicho, E., Erlhagen, W., Louro, L. & e Silva, E. C. (2011). Neuro-cognitive mechanisms of decision making in joint action- a human-robot interaction study. *Human Movement Science*, 30, 846-868.
- Billings, C. E. (1997). *Aviation automation: The search for a human centered approach*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Boehm-Davis, D. A., Curry, R. E., Wiener, E. L. & Harrison, L. (1983). Human factors of flight-deck automation: Report on a NASA-industry workshop. *Ergonomics*, 26 (10), 953-961.
- Bortz, J. (2005). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (6th Aufl.). Springer.
- Bothe, K., Hildebrandt, M. & Niestroj, N. (2010). *ATEO-System Komponente: SAM (Software-Spezifikation)*. (Version 2.3.3)
- Brehmer, B. & Dörner, D. (1993). Experiments with computer-simulated microworlds: Escaping both the narrow straits of the laboratory and the deep blue sea of the field study. *Computers in Human Behavior*, 9, 171-184.
- Brooks, F. P. (1995). *The mythical man-month* (Anniversary Edition Aufl.). Addison-Wesley.
- Bubb-Lewis, C. & Scerbo, M. (1997). Getting to know you: Human-computer communication in adaptive automation. In M. Mouloua & J. M. Koonce (Hrsg.), *Human-automation interaction: Research and practice* (S. 92-99). Erlbaum.
- Burkhard, H.-D., Jahn, L., Meyer, C., Muetterlein, J., Nachtwei, J., Niestroj, N., ... Schneider, M. (2011). Artificial Subjects in the Psychological Experiment Socially Augmented Microworld (SAM). In M. Szczuka, L. Czaja, A. Skowron & M. Kacprzak (Hrsg.), *Concurrency, Specification and Programming. Proceedings of International Workshop CS&P 2011* (S. 54-65). Białystok University of Technology.
- Chapanis, A. (1965). On the allocation of functions between men and machines. *Occupational Psychology*, 39, 1-11.
- Charlton, J. P. (2005). Measuring perceptual and motivational facets of computer control: the development and validation of the computing control scale. *Computers in Human Behavior*, 21 (5), 791-815.
- Chow, T. & Cao, D.-B. (2007). A survey study of critical success factors in agile software projects. *Journal of Systems and Software*, 81, 961-971.
- Christoffersen, K. & Woods, D. D. (2002). How to make automated

- systems team players. In E. Salas (Hrsg.), *Advances in human performance and cognitive engineering research volume 2: automation* (S. 1-12). Elsevier.
- Claessens, B. J., Roe, R. A. & Rutte, C. G. (2009). Time management: logic, effectiveness and challenges. In R. A. Roe, M. J. Waller & S. R. Clegg (Hrsg.), *Time in organizational research* (S. 23-41). Routledge.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioural sciences* (2. Aufl.). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Cummings, M. L. & Thornburg, K. M. (2011). Paying attention to the man behind the curtain. *PERVASIVE computing*, 1536-1268.
- DiFonzo, N., Hantula, D. A. & Bordia, P. (1998). Microworlds for experimental research: Having your (control and collection) cake, and realism too. *Behavior Research methods, Instruments & Computers*, 30, 278-286.
- Durso, F. T. & Dattel, A. R. (2004). Spam: The real-time assessment of sa. *A cognitive approach to situation awareness: Theory and application*, 137-154.
- Edwards, E. & Lees, F. (1974). The influence of the process characteristics on the role of the human operator in process control. *Applied Ergonomics*, 5, 21-25.
- Eilers, K., Nachreiner, F. & Hänecke, K. (1986). Entwicklung und Überprüfung einer Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 40, 215-224.
- Endsley, M. R. (1987). The application of human factors to the development of expert systems for advanced cockpits. In *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting* (Bd. 31, S. 1388-1392).
- Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37 (1), 32-64.
- Endsley, M. R. (1997). Level of automation - integrating humans and automated systems. In *Proceedings of the human factors and ergonomics society 41st meeting*.
- Endsley, M. R. & Kaber, D. B. (1999). Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. *Ergonomics*, 42 (3), 462-492.
- Endsley, M. R. & Kiris, E. O. (1995). The out-of-the-loop and performance problem and level of control and in automation. *Human Factors*, 37 (2), 381-394.
- Engelbrecht, A. (2007). *Interaktionsstrategien beim Kooperativen Tracking* (Diplomarbeit). Humboldt-Universität zu Berlin.
- Fitts, P. M. (1951). *Human engineering for an effective air navigation and traffic control system*. National Research Council.
- Flemisch, F. O., Bengler, K., Bubb, H., Winner, H. & Bruder, R. (2014). Towards cooperative guidance and control of highly automated vehicles: H-mode and conduct-by-wire. *Ergonomics*, 57 (3), 343-360.
- Fuhrmann, E. (2010). *Entwicklung eines GUI für die Konfiguration der Software-Komponente zur Systemprozessüberwachung und -kontrolle in einer psychologischen Versuchsumgebung* (Diplomarbeit).

- beit). Humboldt-Universität zu Berlin.
- Goebel, W. & Palmer, C. (2009). Synchronization of timing and motion among performing musicians. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 26, 427-438.
- Gross, B. (2004). *Bestimmung von Schwierigkeitsgraden in einer zu entwickelnden Versuchsumgebung* (Diplomarbeit). Humboldt-Universität zu Berlin.
- Gross, B. & Nachtwei, J. (2006). Assistenzsysteme effizient entwickeln und nutzen – Die Mikrowelt als Methode zur Wissensakquisition für Entwickler und Operateure.
- Hacker, W. (1973). *Allgemeine Arbeits- und Ingenieurpsychologie*. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Hacker, W. (2005). *Allgemeine Arbeitspsychologie* (2. Aufl.). Verlag Hans Huber.
- Hampel, T. (2012). *Weiterentwicklung und Verbesserung einer Analysesoftware für dynamische Versuchsumgebungen* (Diplomarbeit). Humboldt-Universität zu Berlin.
- Hancock, P. A. & Chignell, M. H. (1988). Mental workload dynamics in adaptive interface design. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 18 (4), 647-658.
- Hancock, P. A., Chignell, M. H. & Loewenthal, A. (1985). An adaptive human-machine system. In *Proceedings of the IEEE Conference on Systems, Man and Cybernetics* (Bd. 15, S. 627–629). Washington, DC.
- Hancock, P. A. & Scallen, S. F. (1996). The future of function allocation. *Ergonomics in Design*, 4 (4), 24-29.
- Inagaki, T. (2003). Adaptive automation: Sharing and trading of control. In E. Hollnagel (Hrsg.), *Handbook of cognitive task design* (S. 221-245). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Jahn, L. & Schneider, M. (2012). *Dokumentation der Entwicklung von Agenten zur Ersetzung der Mikroweltbewohner in der Socially Augmented Microworld* (Studienarbeit). Humboldt-Universität zu Berlin.
- Kaber, D. B. & Endsley, M. R. (2004). The effects of level of automation and adaptive automation on human performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 5 (2), 113-153.
- Keller, P. E. (2008). Enacting intersubjectivity: A cognitive and social perspective on the study of interactions. In F. Morganti, A. Carassa & G. Riva (Hrsg.), *Joint action in music performance* (S. 205-221). IOS Press.
- Kocher, M. G. & Sutter, M. (2005). Time is money - time pressure, incentives, and the quality of decision-making. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 61, 375-392.
- Kosjar, N. (2011). *Die Gebrauchstauglichkeit des Automatiken-GUI im Projekt Arbeitsteilung Entwickler Operateur (ATEO)* (Studienarbeit). Humboldt-Universität zu Berlin.
- Kosjar, N. (2012). *Ein Ereignis System für das ATEO Automation Framework sowie die Implementierung und Testung von auditiven und visuellen Hinweisen* (Diplomarbeit). Humboldt-Universität zu Berlin.

lin.

- Krinner, C. (2008). *Design von Assistenz: Einfluss verschiedener Determinanten auf Assistenzkonzepte von Entwicklern* (Dissertation). Humboldt-Universität zu Berlin.
- Kubinger, K. D., Rasch, D. & Moder, K. (2009). Zur Legende der Voraussetzungen des t Tests für unabhängige Stichproben. *Psychologische Rundschau*, 01, 26-27.
- Kuhl, J. (1994). Action and state orientation: Psychometric properties of the action control scales (acs-90). In J. Kuhl & J. Beckmann (Hrsg.), (S. 47-59). Hogrefe.
- Kurbalija, V., von Bernstorff, C., Burkhard, H.-D., Nachtwei, J., Ivanović, M. & Fodor, L. (2012). Time-series Mining in a Psychological Domain. In Z. Budimac, M. Ivanović & M. Radovanović (Hrsg.), *Proceedings of the Fifth Balkan Conference in Informatics* (S. 58-63).
- Landis, J. R. & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33 (1), 159-174.
- Lang, J. W. & Fries, S. (2006). A revised 10-item version of the achievement motives scale - psychometric properties in german-speaking samples. *European Journal of Psychological Assessment*, 22, 216-224.
- Lee, J. D. (1994). Trust, self-confidence, and operators' adaptation to automation. *Int. J. Human-Computer Studies*, 40, 153-184.
- Lee, J. D. & See, K. A. (2004). Trust in automation: Designing for appropriate reliance. *Human Factors*, 46, 50-80.
- Leonhard, C. (2010). *Fenster zum Prozess Weiterentwicklung eines Operateurarbeitsplatzes im Projekt Arbeitsteilung Entwickler Operateur (ATEO)* (Studienarbeit). Humboldt-Universität zu Berlin.
- Leonhard, C. (2013). *Fenster zum Prozess Weiterentwicklung eines Operateursarbeitsplatzes im Projekt Arbeitsteilung Entwickler Operateur (ATEO)* (Diplomarbeit). Humboldt-Universität zu Berlin.
- Li, H., Wickens, C. D., Sarter, N. & Sebok, A. (2014). Stages and levels of automation in support of space teleoperations. *Human Factors*. (published online before print)
- Manzey, D. & Bahner, J. E. (2005). Vertrauen in Automation als Aspekt der Verlässlichkeit von Mensch-Maschine-Systemen. In K. Karer, B. Gauss & C. Steffens (Hrsg.), *Beiträge zur Mensch-Maschine-Systemtechnik aus Forschung und Praxis – Festschrift für Klaus-Peter Timpe* (S. 93-109). Düsseldorf: Symposion.
- Manzey, D., Bleil, M., Bahner-Heyne, J., Klostermann, A., Onnasch, L., Reichenbach, J. & Röttger, S. (2008). Auto-cams 2.0. manual [Software-Handbuch]. (<http://www.aio.tu-berlin.de/?id1/430492> (Zugriff: März 2014).)
- Maule, A. J., Hockey, G. R. J. & Bdzola, L. (2000). Effects of time pressure on decision-making under uncertainty: changes in affective state and information processing strategy. *Acta Psychologica*, 104, 283-301.
- Merat, N. & Lee, J. D. (Hrsg.). (2012). *Special section on human factors and automation in vehicles: Designing highly automated vehicles with the driver in mind*. Human Factors and Ergonomics Society.
- Moray, N. (1986). Monitoring behavior and supervisory control. In

- K. Boff, L. Kaufmann & J. Beatty (Hrsg.), (S. 40-1 - 40-51). Wiley.
- Moray, N. & Inagaki, T. (2000). Attention and complacency. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 1 (4), 354-365.
- Nachtwei, J. (2006). *Personenmerkmale als Kodeterminanten der Komplexität einer belebten Mikrowelt* (Diplomarbeit). Humboldt-Universität zu Berlin.
- Nachtwei, J. (2008). *Ein experimenteller Ansatz in der kognitiven Ergonomie – Personenmerkmale als Kodeterminanten der Komplexität einer belebten Mikrowelt*. VDM Verlag Dr. Müller.
- Nachtwei, J. (2010). *Design and evaluation of a supervisory control lab system for automation research - a theoretical and empirical contribution to the discussion on function allocation* (Dissertation). Humboldt-Universität zu Berlin.
- Niestroj, N. (2008). *Erweiterung des ATEO-Systems zur Komplexitätserhöhung von SAM* (Studienarbeit). Humboldt-Universität zu Berlin.
- Niestroj, N. (2009). *Vernetzung im ATEO Projekt aus inhaltlicher und technischer Sicht* (Diplomarbeit). Humboldt-Universität zu Berlin.
- Norman, D. A. (1990). The problem of automation: Inappropriate feedback and interaction, not over-automation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 327, 585-593.
- Onnasch, L., Wickens, C. D., Li, H. & Manzey, D. (2014). Human performance consequences of stages and levels of automation: An integrated meta-analysis. *Human Factors*, 56 (3), 476-488.
- Parasuraman, R., Molloy, R. & Singh, I. L. (1993). Performance consequences of automation-induced "complacency". *The International Journal of Aviation Psychology*, 3, 1-23.
- Parasuraman, R., Mouloua, M. & Molloy, R. (1996). Effects of adaptive task allocation on monitoring of automated systems. *Human Factors*, 38 (4), 665-679.
- Parasuraman, R. & Riley, V. (1997). Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse. *Human Factors*, 39 (of), 230-253.
- Parasuraman, R., Sheridan, T. B. & Wickens, C. D. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 30, 286-297.
- Rammstedt, B. & John, O. (2007). Measuring personality in one minute or less: A 10-item short version of the big five inventory in english and german. *Journal of Research in Personality*, 41, 203-212.
- Rasmussen, J. (1986). *Information processing and human-machine interaction: An approach to cognitive engineering*. Elsevier Science Publishing Co., Inc.
- Richardson, M. J., Marsh, K. L., Isenhower, R. W., Goodman, J. R. & Schmidt, R. (2007). Rocking together: Dynamics of intentional and unintentional interpersonal coordination. *Human Movement Science*, 26, 867-891.
- Rouse, W. (1976). Adaptive allocation of decision making responsibility between supervisor and computer. In T. B. Sheridan

- & G. A. Johannesen (Hrsg.), *Monitoring behavior and supervisory control* (S. 295-306). New York: Plenum Press.
- Rouse, W. (1981). Human-computer interaction in the control of dynamic systems. *Computing Surveys*, 13 (1), 71-99.
- Rouse, W. (1988). Adaptive aiding for human/computer control. *Human Factors*, 30, 431-438.
- Sarter, N. B. & Woods, D. D. (1995). How in the world did we ever get into that mode? mode error and awareness in supervisory control. *Human Factors*, 37 (1), 5-19.
- Sarter, N. B., Woods, D. D. & Billings, C. E. (1997). Automation surprises. In G. Salvendy (Hrsg.), *Handbook of human factors & ergonomics* (2nd edition Aufl., S. 1926-1943). New York: Wiley. doi: ng
- Scerbo, M. W. (1996). Theoretical perspectives on adaptive automation. In R. Parasuraman & M. Mouloua (Hrsg.), *Automation and human performance: Theory and applications* (S. 37-63). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Schulze, S. (2012). *Die Integration von Automatiken in das ATEO-Master Display (AMD)* (Diplomarbeit). Humboldt-Universität zu Berlin.
- Schwarz, H. (2009). *Fenster zum Prozess ein Operateursarbeitsplatz zur Überwachung und Kontrolle von kooperativem Tracking* (Diplomarbeit). Humboldt-Universität zu Berlin.
- Seid, A. (2012). *Entwicklung und Konfiguration von visuellen Anzeigen im Projekt ArbeitsTeilung Entwickler-Operator (ATEO)* (Diplomarbeit). Humboldt-Universität zu Berlin.
- Shackel, B. (1967). Ergonomics research needs in automation. *Ergonomics*, 10 (5), 627-632.
- Sheridan, T. B. (1987). Supervisory control. In G. Salvendy (Hrsg.), *Handbook of human factors* (S. 1243-1268). New York: Wiley.
- Sheridan, T. B. (1992). *Telerobotics, automation, and supervisory control*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Sheridan, T. B. & Parasuraman, R. (2006). Human-automation interaction. In R. Nickerson (Hrsg.), *Reviews of human factors and ergonomics* (Bd. 1, S. 89-129). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Sheridan, T. B. & Verplank, W. L. (1978). *Human and computer control of undersea teleoperators* (Bericht). Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
- Stade, M. (2012). *Verhaltensindikatoren von Operateuren zur Evaluation der Prozessüberwachungs- und -führungsgüte am Beispiel einer simulierten Leitwarte im ATEO Projekt* (Diplomarbeit). Humboldt-Universität zu Berlin.
- Svenson, O. & Maule, A. (Hrsg.). (1993). *Time pressure and stress in human judgment and decision making*. Springer.
- Valdesolo, P., Ouyang, J. & DeSteno, D. (2010). The rhythm of joint action: Synchrony promotes cooperative ability. *Journal of Experimental Social Psychology*, 46, 693-695.
- von Bernstorff, C. (2014). *Effekte automatischer Unterstützung auf die Prozessüberwachungs- und -führungsleistung von Operateuren /*

- Theoretischer und empirischer Beitrag auf dem Weg zur Kooperativen Automation.* (Dissertation). Humboldt-Universität zu Berlin.
- Wandke, H. & Nachtwei, J. (2008). The different human factor in automation: the developer behind versus the operator in action. In D. de Waard, F. Flemisch, B. Lorenz, H. Oberheid & K. Brookhuis (Hrsg.), *Human factors for assistance and automation* (S. 493-502). Maastricht, the Netherlands: Shaker Publishing.
- Weidner-Kim, H. (2014). *Konzeption und Implementation einer optimalen Rückführung in ATEO SAM* (Studienarbeit). Humboldt-Universität zu Berlin.
- Wickens, C. D., Li, H., Santamaria, A., Sebok, A. & Sarter, N. B. (2010, Sep). Stages and levels of automation: An integrated meta-analysis. In (Bd. 54, S. 389-393). Sage Publications.
- Wickert, A. (2013). *Klassifizierung und Entwicklung von Automaten für Eingriffe in der Socially Augmented Microworld (SAM)* (Diplomarbeit). Humboldt-Universität zu Berlin.
- Wiener, E. L. (1981). Complacency: Is the term useful for air safety? In *Proceedings of the 26th corporate aviation safety seminar* (S. 116-125). Denver, CO.
- Wiener, E. L. (1989). *Human factors of advanced technology ("glass cockpit") transport aircraft* (Bericht). NASA Contractor Report.
- Wiener, E. L. & Curry, R. R. (1980). Flight-deck automation promises and problems. *Ergonomics*, 23, 995-1011.
- Woods, D. D. (1996). Decomposing automation: Apparent simplicity, real complexity. In R. Parasuraman & M. Mouloua (Hrsg.), *Automation and human performance: Theory and applications* (S. 3-17). Erlbaum.
- Zijlstra, F. R. H. (1993). *Efficiency in work behavior: a design approach for modern tools* (Unveröffentlichte Dissertation). Delft University of Technology.

FRAGEBOGEN KONTROLLERLEBEN

A.1 VORSTUDIE

A.1.1 *Items vor der Reduktion*

Im folgenden werden alle 18 Items vor der Reduktion dargestellt.

Tabelle 31: Items der Subskala "Durchschaubarkeit"

Items (Skala von trifft zu (1) bis trifft nicht zu (5))	
D1	Ich habe jederzeit das Gefühl gehabt, die Situation zu überblicken.
D2	Mir hat manchmal der Durchblick gefehlt.
D3	Ich habe ganz genau gewusst, was in der aktuellen Situation zu tun ist.
D4	Ich habe die Abläufe nicht vollständig durchschauen können.
D5	Es ist für mich ganz offensichtlich gewesen, wie die verschiedenen Faktoren in der Situation zusammenwirken.

Tabelle 32: Items der Subskala "Vorhersehbarkeit"

Items (Skala von trifft zu (1) bis trifft nicht zu (5))	
V1	Ich habe ganz genau gewusst, was als nächstes passiert.
V2	Ich bin manchmal überrascht gewesen, wie sich die Situation entwickelt.
V3	Ich habe den Ablauf der Geschehnisse sehr gut vorhersehen können.
V4	Mir ist nicht ganz klar gewesen, wie es weiter gehen soll.
V5	Ich habe mir die zukünftigen Ereignisse gut vorstellen können.

A.1.2 *Szenariobeschreibung*

Dieser Abschnitt listet die Beschreibung der Scenarios auf, wie sie im Onlinefragebogen den Probanden präsentiert wurden.

A.1.2.1 *Szenario 1: S-Bahn fahren mit Kontrolle*

Sie sind mit Freunden fürs Kino verabredet. Sie machen sich auf den Weg und wollen in Berlin mit den öffentlichen Verkehrsmitteln zum Kino fahren. Dafür nutzen Sie die S-Bahn, da sie direkt zur Bahnstation Treptower Park fährt, wo Sie sich mit Ihren Freunden treffen

Tabelle 33: Items der Subskala "Beeinflussbarkeit"

	Items (Skala von trifft zu (1) bis trifft nicht zu (5))
B1	Ich habe das Gefühl gehabt, das Geschehen vollkommen zu beherrschen.
B2	Wenn ich mir etwas vorgenommen habe, so habe ich es jederzeit ohne Störung umsetzen können.
B3	Ich habe das Gefühl gehabt, meine Ziele direkt umsetzen zu können.
B4	Ich habe gedacht, die Dinge spielen verrückt.
B5	Ich habe mitunter das Gefühl gehabt, die Situation nicht völlig unter Kontrolle zu haben.
B6	Ich habe die Geschwindigkeit der Abläufe so bestimmen können, wie ich wollte.
B7	Ich habe die Situation immer voll im Griff gehabt.
B8	Manchmal war mir meine Handlungsmöglichkeiten beeinträchtigt erschienen.

Tabelle 34: Items der Skala "Realismus"

	Items (Skala von trifft zu (1) bis trifft nicht zu (5))
R1	Ich konnte mich gut in die erzählte Geschichte hineinversetzen.
R2	Ich hatte die erzählte Geschichte bereits so ähnlich selbst erlebt.
R3	Die erzählte Geschichte empfand ich als unrealistisch.

wollen. Auf dem Weg dahin kommt es immer wieder zu längeren Verzögerungen bei der Abfahrt. Eine Station vor dem Ziel werden Sie vom S-Bahnfahrer gebeten, den Zug zu verlassen, da aufgrund einer Signalstörung dieser Zug bereits hier endet und zurückfährt. Da eine Weiterfahrt in Richtung Treptower Park in näherer Zeit nicht möglich ist, werden die Fahrgäste gebeten, den Bus 194 Richtung Hermannplatz zu nutzen.

Um Ihre Verabredung rechtzeitig einhalten zu können, machen Sie sich auf den Weg zum Bus, den Sie oft benutzt und als gute Alternative zur S-Bahn erkannt haben. Da der Bus nur wenige Stationen fährt, sind Sie sich sicher, dass Sie pünktlich am Treffpunkt ankommen werden.

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen mit dieser Geschichte im Kopf:

A.1.2.2 Szenario 2: S-Bahn fahren ohne Kontrolle

Sie sind mit Freunden fürs Kino verabredet. Sie machen sich auf den Weg und wollen in Berlin mit den öffentlichen Verkehrsmitteln zum

Kino fahren. Dafür nutzen Sie die S-Bahn, da sie direkt zur Bahnstation Treptower Park fährt, wo Sie sich mit Ihren Freunden treffen wollen. Auf dem Weg dahin kommt es immer wieder zu längeren Verzögerungen bei der Abfahrt. Eine Station vor dem Ziel werden Sie vom S-Bahnfahrer gebeten, den Zug zu verlassen, da aufgrund einer Signalstörung dieser Zug bereits hier endet und zurückfährt. Da eine Weiterfahrt in Richtung Treptower Park in näherer Zeit nicht möglich ist, werden die Fahrgäste gebeten, den Bus 194 Richtung Hermannplatz zu nutzen.

Die empfohlene Umfahrung ist Ihnen leider unbekannt. Sie wissen weder, von wo der Bus abfährt, noch wie lange dieser benötigt. Wann die S-Bahnen wieder fahren werden, ist ebenfalls unbekannt. Sie werden sicher Ihre Verabredung verpassen und der gemütliche Kinoabend ist gefährdet.

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen mit dieser Geschichte im Kopf:

A.1.2.3 Szenario 3: E-Mail verschicken mit Kontrolle

Sie sitzen an Ihrem PC und wollen eine E-Mail für die Einladung zu einem gemeinsamen Kinobesuch mit Freunden verfassen. Nachdem Sie den Text formuliert haben, wollen Sie die email an Ihre Freunde versenden, aber es kommt zu einem Fehler.

Ihr E-Mailprogramm bietet Ihnen die Möglichkeit die E-Mail erneut zu verschicken. Sie drücken den Button „erneut verschicken“. Sie wissen, dass es manchmal zu Problemen mit Ihrem E-Mailanbieter kommt und ein erneutes Senden der E-Mail in der Regel die Lösung des Problems ist. Und so ist es auch diesmal. Die E-Mail wird erfolgreich verschickt.

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen mit dieser Geschichte im Kopf:

A.1.2.4 Szenario 3: E-Mail verschicken ohne Kontrolle

Sie sitzen an Ihrem PC und wollen eine E-Mail für die Einladung zu einem gemeinsamen Kinobesuch mit Freunden verfassen. Nachdem Sie den Text formuliert haben, wollen Sie die E-Mail an Ihre Freunde versenden, aber es kommt zu einem Fehler.

Ihr E-Mailprogramm bietet Ihnen die Möglichkeit die E-Mail erneut zu versenden. Leider führt der Versuch die E-Mail erneut zu versenden zum gleichen Fehler. Es ist für Sie nicht ersichtlich, was Sie falsch machen oder wie Sie das Problem beheben können.

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen mit dieser Geschichte im Kopf:

A.2 ERGEBNISSE

Dieses Kapitel berichtet die Muster- und Strukturmatrix der vier Stichproben „S-Bahn fahren und E-Mail versenden mit Kontrolle“ (Stichprobe 1.1 Tabelle 35), „S-Bahn fahren und E-Mail versenden ohne Kontrolle“ (Stichprobe 1.2 Tabelle 36), „S-Bahn fahren mit und ohne Kontrolle,, (Stichprobe 2.1 Tabelle 37) sowie "E-Mail senden mit und ohne Kontrolle,, (Stichprobe 2.2 Tabelle 38) nach der Hauptkomponentenanalyse mit obliquer Rotation für alle 18 Items vor der Reduktion. Zusätzlich werden für die Ermittlung der Anzahl von Faktoren die Screeplots der vier Stichproben (für Stichprobe 1.1: Abbildung 22, für Stichprobe 1.2 Abbildung 23, für Stichprobe 2.2 Abbildung 24 sowie für Stichprobe 2.2 Abbildung 25) dargestellt und jeweils die Eigenwerte sowie die aufgeklärte Varianz in Prozent für die jeweiligen Faktoren unter den Tabellen der Faktorladungen angegeben.

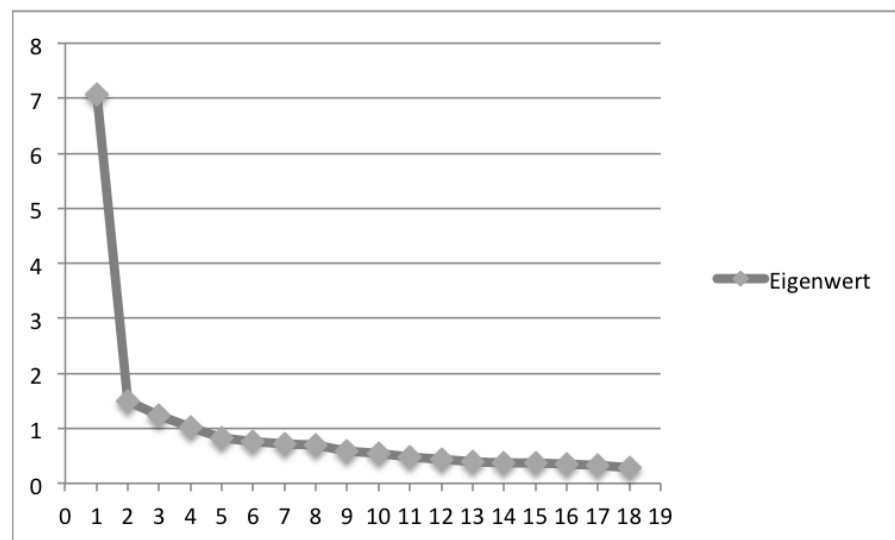


Abbildung 22: Screeplot der Eigenwerte: Stichprobe 1.1: S-Bahn fahren und E-Mail versenden mit Kontrolle

Tabelle 35: Faktorladungen der Items nach der Hauptkomponentenanalyse mit obliquen Rotation: Stichprobe 1.1: S-Bahn fahren und E-Mail versenden mit Kontrolle

Item	Mustermatrix				Strukturmatrix			
	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4
D1	.786	.016	.031	.024	.824	.437	.465	.455
D2	.764	-.113	-.031	.145	.766	.323	.388	.480
D3	.625	-.097	.065	.208	.718	.324	.296	.358
D4	.895	-.057	-.144	-.022	.778	.324	.296	.358
D5	.741	.177	.039	-.382	.651	.400	.342	.099
V1	.030	.147	.676	.062	.495	.473	.781	.433
V2	-.166	-.047	.624	.403	.352	.308	.690	.564
V3	-.122	.102	.928	-.108	.365	.383	.860	.273
V4	-.254	-.308	.317	.483	.519	.165	.530	.617
V5	.331	.033	.600	-.158	.583	.382	.721	.287
B1	.310	.433	.116	.139	.663	.699	.522	.540
B2	.010	.805	.015	-.073	.387	.785	.327	.291
B3	.035	.750	.036	.015	.441	.790	.376	.377
B4	.082	-.012	.019	-.805	-.334	-.315	-.289	-.759
B5	.051	.533	-.135	.482	.500	.713	.323	.684
B6	-.227	.724	.157	-.070	.185	.645	.311	.196
B7	.211	.530	-.016	.228	.589	.729	.416	.563
B8	-.042	.358	-.084	.495	.353	.519	.258	.594
	7,08	1,50	1,23	1,01	Eigenwerte			
	39,32	8,36	6,81	5,63	% der aufgeklärten Varianz			
	.810	.845	.780	.270	Cronbachs Alpha			

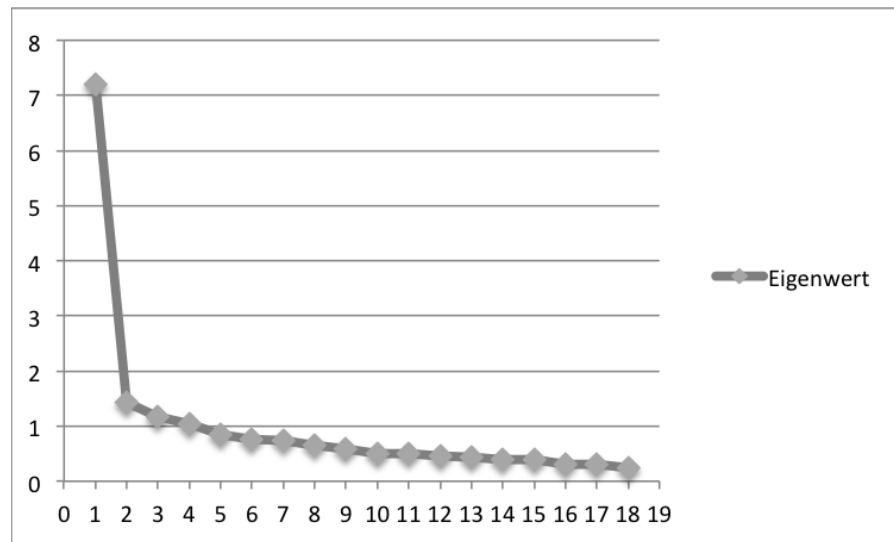


Abbildung 23: Screeplot der Eigenwerte: Stichprobe 1.2: S-Bahn fahren und E-Mail versenden ohne Kontrolle

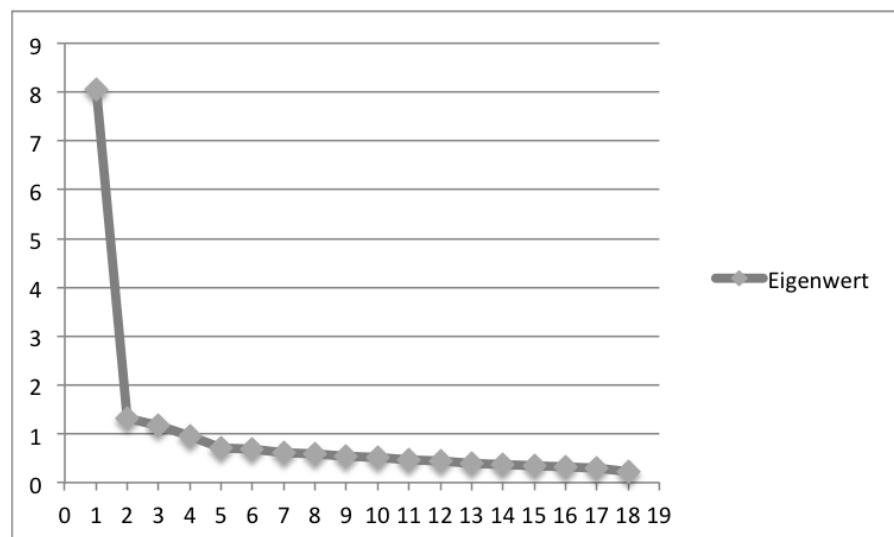


Abbildung 24: Screeplot der Eigenwerte: Stichprobe 2.1: S-Bahn fahren mit und ohne Kontrolle

Tabelle 36: Faktorladungen der Items nach der Hauptkomponentenanalyse mit obliquen Rotation: Stichprobe 1.2: S-Bahn fahren und E-Mail versenden ohne Kontrolle

Item	Mustermatrix				Strukturmatrix			
	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4
D1	.860	.140	-.037	-.171	.818	.520	.333	.412
D2	.859	.030	-.079	-.032	.821	.463	.299	.480
D3	.697	-.071	.025	.144	.756	.395	.358	.542
D4	.910	-.097	.033	-.139	.786	.349	.354	.379
D5	.529	-.063	.314	-.011	.626	.332	.523	.388
V1	-.031	.264	.698	-.063	.385	.454	.753	.287
V2	-.073	-.167	.705	.264	.307	.165	.706	.377
V3	-.006	.256	.772	-.176	.368	.429	.796	.210
V4	.345	-.070	.110	.349	.568	.332	.358	.562
V5	.220	-.169	.597	.173	.495	.243	.695	.426
B1	.402	.450	-.035	.124	.712	.723	.339	.582
B2	.063	.557	-.017	.230	.504	.700	.280	.539
B3	.115	.630	-.070	.193	.551	.765	.262	.552
B4	.063	.262	-.061	-.896	-.365	-.169	-.249	-.748
B5	.155	.225	-.094	.612	.612	.583	.260	.786
B6	-.108	.915	.130	-.270	.291	.765	.303	.163
B7	.183	.335	-.007	.434	.630	.649	.336	.709
B8	-.298	.333	.076	.633	.307	.509	.275	.643
	7,19	1,42	1,18	1,05	Eigenwerte			
	39,96	7,89	6,57	5,81	% der aufgeklärten Varianz			
	.857	.780	.740	.122	Cronbachs Alpha			

Tabelle 37: Faktorladungen der Items nach der Hauptkomponentenanalyse mit obliquen Rotation: Stichprobe 2.1: S-Bahn fahren mit und ohne Kontrolle

Item	Mustermatrix			Strukturmatrix		
	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
D1	.902	.019	-.085	.868	.578	.419
D2	.847	.066	-.147	.810	.556	.350
D3	.819	.003	-.042	.798	.527	.350
D4	.886	-.082	-.046	.806	.485	.398
D5	.591	-.178	.236	.602	.335	.470
V1	.149	.130	.594	.562	.529	.741
V2	-.107	-.048	.813	.307	.291	.730
V3	-.092	.055	.851	.412	.423	.829
V4	.564	.012	.255	.712	.516	.570
V5	.341	-.021	.490	.595	.453	.666
B1	.298	.564	.053	.703	.789	.500
B2	-.155	.854	.055	.444	.778	.400
B3	-.004	.831	.001	.551	.829	.418
B4	-.314	-.219	-.117	-.524	-.487	-.400
B5	.158	.714	-.057	.603	.791	.390
B6	-.206	.846	.004	.360	.710	.317
B7	.296	.625	-.066	.676	.789	.411
B8	.051	.573	.027	.448	.621	.344
				Eigenwerte		
				% der aufgeklärten Varianz		
				Cronbachs Alpha		

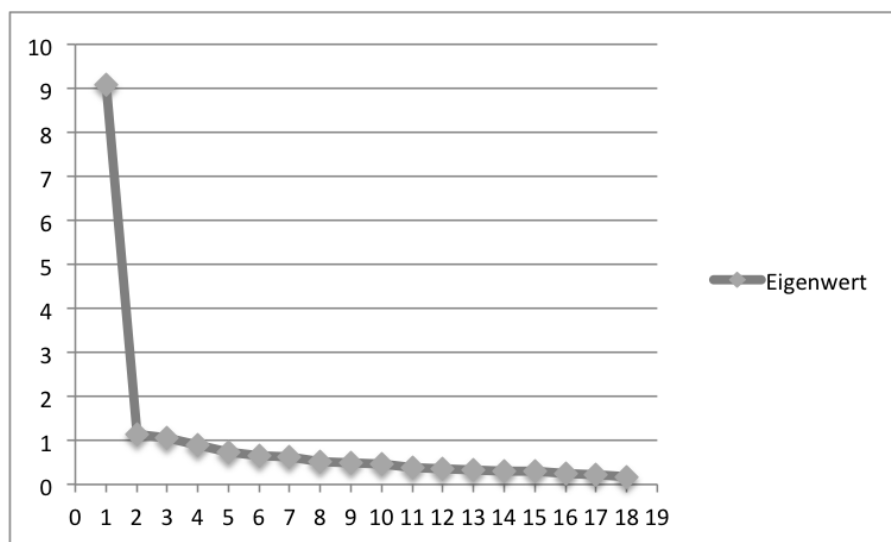


Abbildung 25: Screeplot der Eigenwerte: Stichprobe 2.2: E-Mail versenden mit und ohne Kontrolle

Tabelle 38: Faktorladungen der Items nach der Hauptkomponentenanalyse mit obliquen Rotation: Stichprobe 2.2: E-Mail versenden mit und ohne Kontrolle

Item	Mustermatrix			Strukturmatrix		
	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
D1	.672	.134	.127	.826	.626	.580
D2	.864	-.019	.031	.869	.534	.498
D3	.710	.121	.082	.831	.610	.548
D4	.685	.022	.057	.730	.480	.450
D5	.248	.369	.223	.600	.655	.580
V1	.024	.084	.780	.508	.563	.843
V2	.301	-.071	.593	.586	.468	.717
V3	.082	-.061	.863	.523	.504	.873
V4	.679	-.001	.069	.717	.460	.444
V5	.404	-.153	.610	.648	.461	.743
B1	.428	.458	.083	.757	.772	.592
B2	.001	.799	-.052	.467	.768	.424
B3	.132	.703	-.195	.575	.796	.500
B4	-.377	-.409	.089	-.581	-.590	-.364
B5	.360	.703	-.195	.687	.810	.423
B6	-.557	.682	.430	.104	.593	.527
B7	.164	.660	.085	.620	.812	.569
B8	.148	.632	-.092	.488	.669	.366
Eigenwerte						
% der aufgeklärten Varianz						
Cronbachs Alpha						
	9,09	1,13	1,07			
	50,53	6,26	5,94			
	.889	.735	.808			

AUFGABENBESCHREIBUNG UND MATERIAL DER LEHRVERANSTALTUNGEN

Dieser Teil des Anhangs stellt die Materialien und Aufgabenstellungen zur Verfügung, welche im Rahmen der zwei Seminare und des Bachelorprojektes für die Studie zur Untersuchung von Zeit als Resource im Entwicklungsprozess von Automaten eingesetzt wurden.

B.1 AUFGABENBESCHREIBUNG

B.1.1 *Aufgabe 1*

Zielstellung und Motivation Das Ziel dieser Aufgabe ist es, Sie mit der Socially Augmented Microworld aus der Perspektive der Mikroweltbewohner (Versuchspersonen) vertraut zu machen, indem Sie selbst das Tracking-Objekt durch einen kompletten Versuch steuern. Auf diese Weise wird die Grundlage für die nachfolgenden Aufgaben gelegt, in denen es darum geht, eine Automatik zu entwickeln, welche auf das Fahrverhalten der MWB einwirkt.

Aufgabenstellung Die folgenden Teilaufgaben gilt es zu absolvieren:

1. Installieren Sie SAMs, indem Sie es von (?) beziehen und entpacken. Bevor Sie Squeak starten, denken Sie daran Ihre Joysticks anzuschließen, sonst werden diese von Squeak nicht erkannt.
2. Absolvieren Sie ein komplettes Experiment, welches in der gegebenen Konfiguration 11 Fahrten umfasst, wobei die ersten beiden Fahrten von MWB₁, die nächsten beiden Fahrten von MWB₂ und die restlichen Fahrten kooperativ durch beide MWB zu absolvieren sind. Testen Sie dabei das Verhalten des Systems auf unterschiedliches Fahrverhalten, einschließlich Ausnahmesituationen wie z.B. wenn versucht wird den sichtbaren Bereich zu verlassen oder die minimale bzw. maximale Geschwindigkeit des Tracking-Objekts zu erreichen.
3. Fertigen sie einen Kurzbericht an, welcher Ihre Erfahrungen (positive wie negative) mit SAMs sowie offene Fragen enthält.
4. Verschaffen Sie sich einen Überblick über die Spezifikation von SAMs. (Bothe et al., 2010)

B.1.2 *Aufgabe 2*

Zielstellung und Motivation Gegenstand der Untersuchungen im Seminar Mensch-Technik-Interaktion ist die Socially Augmented Microworld (SAM) und die Unterstützung einer Tracking-Aufgabe durch

Automatiken. SAMs implementiert einen komplexen dynamischen Prozess in Form einer Tracking-Aufgabe, welche von zwei Versuchspersonen, den sogenannten Mikroweltbewohnern (MWB), so schnell wie möglich ohne Abweichung von der Fahrbahn zu absolvieren ist und entweder von Automatikfunktionen oder einem menschlichem Operateur in seiner Leitwarte überwacht und geregelt werden kann.

Eine Automatik kann aus beliebig vielen unterschiedlichen Automatikfunktionen (z.B. Sensor- und Steuerungsfunktionen, Beobachtungs- und Reaktionsfunktionen) zusammengesetzt sein. Eine Automatikfunktion kann prinzipiell auf die Joystickeingaben der MWB Einfluss nehmen oder diese mit hilfreichen Informationen zur Strecke oder dem Lenkverhalten unterstützen. Ebenso hat ein Operateur für die Prozessüberwachung eine Reihe von Eingriffsmöglichkeiten (Beobachten und Reagieren), die zum richtigen Zeitpunkt eingesetzt werden müssen.

Im Folgenden wird eine spezielle Situation betrachtet, in welcher die MWB vor, während und kurz nach einer Gabelung unterstützt werden sollen. Erfahrungsgemäß kommt es beim Tracking an den Gabelungen kontinuierlich zu Problemen. Denn diese sind so konstruiert, dass es eine enge dafür aber kurze sowie eine längere aber breitere Wegalternative zu Wahl gibt. So muss man sich entscheiden, ob man schneller oder genauer fahren möchte. Berücksichtigt werden muss auch die vor dem Versuch unterschiedlich instruierten MWB (einer soll möglichst genau der andere möglichst schnell steuern) und da die verbale Kommunikation nicht zugelassen ist, müssen sich die MWB nonverbal in dieser Entscheidungssituation einig werden. Dies führt dazu, dass die beiden MWB ohne menschliche oder technische Unterstützung in der Mitte zwischen den Pfadalternativen durchsteuern oder aber bei einer der beiden Pfadalternativen übersteuern. Die Konsequenz sind Ungenauigkeiten und Zeitverluste im Prozessverlauf.

Im Verlauf des Seminars wird es ihre Aufgabe sein, Automatiken zur Prozessüberwachung und -steuerung zu entwickeln, welche die oben dargestellten Probleme vor, während und nach den Gabelungen möglichst geschickt löst.

Aufgabenstellung Die Entwicklung von Automatiken soll nach den Grundsätzen des Software Engineering erfolgen und sich an dem erweiterten Wasserfallmodell mit den Phasen Analyse- und Definition, Entwurf, Implementation und Test orientieren. Demnach besteht Ihre erste Aufgabe aus der Analyse der Problemdomäne sowie der Definition der Lösung, wobei sich die Aufgabe in folgende Teilaufgaben gliedert:

1. Arbeiten Sie sich anhand der Materialien des Seminars in die Problemdomäne ein (Bothe et al., 2010). Setzen Sie sich insbe-

sondere mit den verschiedenen Beobachtungs- und Eingriffsmöglichkeiten der Tracking- Simulation auseinander. Orientieren Sie sich in einem ersten Ansatz am Operateursarbeitsplatz, dessen Möglichkeiten analysiert, aber auch erweitert bzw. modifiziert werden können. Dort werden Beobachtungsmöglichkeiten wie Streckenbild, Auslenkung der Joysticks, Verteilung der Steuergewalt u.a. angegeben. Bei den Eingriffsmöglichkeiten handelt es sich um weiche (visuelle und auditive) und harte Eingriffe (Einfluss auf die Steuergewalt). Weitere Eingangsparameter werden sinnvoll sein (u.a. Zeitparameter: Wie lange dauert es bis zur Gabelung?).

2. Analysieren Sie aufbauend auf Ihren Erkenntnissen der ersten Teilaufgabe die in Abschnitt 1 dargestellte Situation und konzipieren Sie Automaten, welche die dargestellten Probleme (im Verbund) lösen. Erfassen Sie hierfür die Anforderungen an Automaten verbal in Form eines Pflichtenheftes und mit Hilfe von Skizzen. Beziehen Sie Überlegungen zur technischen Umsetzbarkeit (Implementierung) der vorgeschlagenen Automaten ein, sowohl bei den konzipierten Automaten als auch vorab bei den Beobachtungs- und Eingriffsmöglichkeiten aus Teilaufgabe 1.
3. Erstellen Sie eine Präsentation in welcher Sie das von Ihnen erarbeitete Pflichtenheft vorstellen. Richten Sie sich hierbei auf eine Vortragslänge von 10 bis 15 Minuten ein.

Weiterhin soll der Entwicklungsprozess von Ihnen dokumentiert werden, erstellen Sie hierzu Sitzungsprotokolle, welche den Verlauf und die Ergebnisse ihrer Treffen wiedergeben.

B.1.3 Aufgabe 3

Aufgabenstellung Die dritte Aufgabe besteht darin, die nun durch das Pflichtenheft spezifizierten Automaten mit Hilfe von Smalltalk und Squeak zu implementieren. Gehen Sie hierbei wie folgt vor:

1. Bevor Sie mit der Implementation beginnen, strukturieren Sie Ihre Lösung in Klassen und dokumentieren Sie Ihr Ergebnis in Form eines UML-Klassendiagramms. Achten Sie darauf zyklische Abhängigkeiten zwischen Ihren Klassen zu vermeiden.
2. Implementieren Sie das von Ihnen erstellte Design. Sollten Sie im Zuge der Implementation feststellen, dass Ihr Design geändert werden muss, so arbeiten Sie diese Änderungen auch in das Klassendiagramm ein. Erstellen Sie dabei für Ihre Klassen eine entsprechende Test-Klasse unter Verwendung des Tools SUNIT.
3. Erarbeiten Sie eine Präsentation Ihres Designs sowie eine Demonstration Ihrer Implementation in Form eines 25 Minuten-Vortrages.

Weiterhin soll der Entwicklungsprozess von Ihnen dokumentiert werden, erstellen Sie hierzu Sitzungsprotokolle, welche den Verlauf und die Ergebnisse ihrer Treffen wiedergeben.

B.2 VORLAGE DES SITZUNGSPROTOKOLLS

Zeitpunkt des Treffens:

Gruppe:

Teilnehmer:

Moderator:

Protokollführer:

Dauer des Treffens:

1 Ablauf Generell soll dokumentiert werden, wer welchen Input gegeben hat (mit Angabe der Person). So kann der Prozess für alle Beteiligten später nachvollzogen werden.

Diskutierte Probleme

- Welche Probleme können auftreten beim Tracking
- Wo besteht Unterstützungsbedarf und in welcher Form soll unterstützt werden

Diskutierte Lösungen

- Welche Automatikfunktionen sind angedacht?
- Wie soll diese umgesetzt werden?
- Was sind die Parameter, etc?
- Fotos von diskutierten Konzepten (Flipcharts, Whiteboards)
- Grafiken, wenn welche erstellt wurden

Verworfenne Lösungen

Welche Automatikfunktionen oder Teile von Automatikfunktionen wurden mit welcher Begründung verworfen?

Offene Punkte

- Wo besteht nach der Sitzung noch weiterer Diskussionsbedarf?
- Was sind Probleme, über die sich noch Gedanken gemacht werden muss?

Verschiedenes

Alle Dinge, die relevant sind, sich aber nicht unter einen der Punkte oben einordnen lassen.

2 Verwendete Materialien

- Flipchart, Laptop, Whiteboard
- Fotos
- Grafiken
- externe Sourcen (Internetadressen, Dokumente)

3 To Do's Welche Aufgaben werden von wem bis zum nächsten Treffen übernommen?

- Recherche
- Berechnungen
- Überlegungen
- Ausarbeitungen

B.3 VORLAGE DES PFLICHTENHEFTES

Im Titelblatt werden die Version des Pflichtenheftes, das Datum der letzten Bearbeitung, die Autoren sowie optional eine Liste der Veränderungen zwischen den einzelnen Versionen des Pflichtenheftes

1 Beschreibung der Problemsituation Beschreiben Sie hier die Problemsituation, welches durch Ihr automatisches System zu lösen ist.

2 Beobachtungs- und Eingriffsmöglichkeiten Beschreiben Sie hier die Beobachtungs- und Eingriffsmöglichkeiten, welche Ihnen von SAM zur Verfügung gestellt werden.

3 Beschreibung der Lösung durch das automatische System Beschreiben Sie hier übersichtsartig die Lösung, welche durch Ihr automatisches System implementiert werden soll. Hierzu gehört eine Darstellung der Gesamtlösung, eine Übersicht zu ihren Automaten, deren Aufgaben sowie deren Interaktion.

4 Automaten

4.1 Beschreibung Automatik 1

4.1.1 Aufgabe der Automatik

Welches Problem löst die Automatik?

4.1.2 Anforderungen

- Welche Anforderungen ergeben sich aus der Aufgabe der Automatik?
- Was muss umgesetzt werden? Musskriterien
- Was kann umgesetzt werden? Wunschkriterien

4.1.3 Szenarien

Beschreiben Sie hier in welchen Situationen die Automatik aktiv wird und wie sie sich in diesen Situationen verhält.

4.1.4 Überwachung welcher Parameter

Beschreiben Sie hier welche Parameter überwacht werden sollen und wie der Ist-Bereich bzw. der kritische Bereich definiert ist. Hier sollen die durch die Automatik genutzten Beobachtungsmöglichkeiten genannt und präzisiert werden.

4.1.5 Eigenschaften der Automatikfunktionen

Beschreiben Sie die benutzten Automatikfunktionen mit ihren Eigenschaften wie

- Art der Automatikfunktion (überwachend oder regelnd)
- Parameter der Automatikfunktion (Intensität, Dynamik, Begrenzung, Aktivität und evtl. Frequenz, Intervall der Aktivität)

4.1.6 Konflikte mit anderen Automaten

Beschreiben Sie mögliche Konflikte mit anderen Automaten bei der Ausführung.

4.1.7 Begründung, warum diese Automatik

Begründen Sie, warum diese Automatik Teil des Konzeptes geworden ist.

4.1.8 Informationsquelle als Ideengeber

Beschreiben Sie die Informationsquellen, die als Ideengeber bei der Konzeption der Automatik ausschlaggebend waren.

4.2 Beschreibung Automatik 2 Analog zu Automatik 1.

4.3 Beschreibung Automatik N Analog zu Automatik 1.

B.4 GUTACHTEN DER STUDENTISCHEN LEISTUNGEN DES SEMINARS IM WINTERSEMESTER 2010/2011

Im Rahmen des Seminars Mensch-Technik-Interaktion, welches in Zusammenarbeit der beiden Lehrstühle Softwaretechnik unter Leitung von Professor Bothe und Ingenieurpsychologie/Kognitive Ergonomie unter Leitung von Professor Wandke im Wintersemester 2010/11 angeboten wurde, sollten Studenten in Teams Konzepte für Automatiksysteme entwickeln und implementieren. Am Ende sollen die beiden besten Konzepte prämiert werden.

Die Herausforderung bestand für die Studenten darin, ein Automatisierungskonzept für den Prozessüberwachungs- und Steuerungsprozesses einer spezifischen Laborumgebung, dem sog. ATEO Lab System (ALS), zu entwickeln und dafür bisher unbekannte Werkzeuge (Squeak und Smalltalk) zu nutzen. Beim ALS überwacht ein Operateur mittels einer Leitwarte (sog. ATEO Master Display (AMD)) zwei weitere Probanden (sogenannte Mikroweltbewohner/Microworld Inhabitants (MWB/MWI)), die an einem zweiten Arbeitsplatz eine kooperative Tracking- und Entscheidungsaufgabe ausführen und damit einen komplexen Prozess abbilden. Im Rahmen des Seminars wurde sich auf eine spezielle Situation innerhalb der Trackingaufgabe konzentriert, nämlich die der Gabelungen. Der Aufwand des Seminars war im Vergleich zu anderen Seminaren im Diplomstudiengang Informatik hoch, und insbesondere die Implementierung verlangte hohe Bereitschaft und Arbeitseinsatz.

Die beiden Studententeams zeigten durchweg hohe Motivation und Engagement und schlossen das Seminar mit jeweils auffallend hoher Qualität der Aufgabenbearbeitung ab. Dieses Engagement ist nicht selbstverständlich, daher möchten wir diese Arbeitsweise besonders herausstellen.

Im Folgenden werden die Kriterien genannt, nach denen die zu prämierenden Konzepte der Gruppe 1 und 2 bewertet wurden. Dabei wird zunächst heraus gestellt, welche Aspekte beide Gruppen gleichermaßen gut bzw. weniger gut gelöst haben. Im Anschluss soll auf die einzelnen Stärken und Schwächen der individuellen Konzepte eingegangen werden.

Als Bewertungskriterien wurden primär die Qualität der Konzepte, der Grad der Umsetzung sowie sekundär die Disziplin der Gruppen bei der Bewältigung der Aufgaben, die Qualität der Pflichtenhefte und die Güte der Vorträge im Seminar herangezogen.

Gemeinsamkeiten zwischen den beiden Gruppen Positiv bei beiden Gruppen ist die hohe Anzahl an Unterstützungsfunktionen. So wurden mehrere Automaten für die Gabelungssituation entworfen, welche auch zum Teil auf weite Teile der restlichen Strecke anwendbar sind. Die Gabelungssituation wurde von beiden Gruppen analysiert und zahlreiche wie vielfältige Ansätze für Unterstützungsfunktionen gefunden. Dies unterscheidet sich zum Teil stark von den Ergebnissen von Entwicklern aus der Industrie. Der Detailgrad beider Konzepte ist durchweg hoch, was sich ebenso im Vergleich zu den Entwicklern aus der Industrie zum Teil gravierend unterscheidet. Dabei ist aber auch zu beachten, dass Entwicklern der Industrie für die Ausarbeitung und Dokumentation der Konzepte weniger Zeit zur Verfügung stand. Beide Gruppen haben einsetzbare Automaten abgegeben.

Bei beiden Gruppen ist anzumerken, dass sie die Entscheidung, welche Gabelung von den MWI zu wählen ist, hätten besser lösen

können. So sieht das Konzept von Gruppe 1 auch in Fällen, wo kein Hinweis nötig ist, einen solchen auf einen zufällig gewählten Gabelungszweig vor. Besser ist es in solchen Fällen, keinen Hinweis zu geben, um eine starke Bevormundung der MWI durch die Assistenz zu vermeiden. Es ist in solchen Situationen fraglich, ob die MWI unterstützt werden oder diesen Hinweis eher als lästig oder irrelevant ansehen würden. Gruppe 2 hat sich dazu entschieden, stets den breiten, aber langen Zweig der Gabelung als Vorschlag für die MWI zu wählen. Diese Entscheidung lässt die Instruktion der MWI, entweder schneller oder genauer zu fahren, außer Acht und geht damit zu wenig auf die eigentlichen Zielvorgaben der MWI ein.

Besondere Leistungen der Gruppe 1 Gruppe 1 hat eine detaillierte Analyse der Situation „Gabelung“ vorgenommen und verschiedene Ansatzpunkte für eine Unterstützung gefunden. Dabei wurden 6 Automaten konzipiert, wovon mehrere überwachendes und andere führendes Verhalten zeigen. Besonders gut ist die Idee, das Verhalten der MWI zu analysieren und basierend darauf eine andere Automatik reagieren zu lassen. Diese Form der adaptiven Automatik ist sehr fortgeschritten. Auch wenn das Analyseverfahren noch besser ausgefeilt werden könnte, wurde in der gegebenen Zeit eine sehr gute Lösung gefunden. Das konstruktive Feedback an die MWI nach dem Durchfahren der Gabelungssituation ist ebenfalls gelungen, benötigt aber in der Analyse des Verhaltens innerhalb der Gabelung noch Verbesserung, da die unterschiedliche Breite der Gabelungszweige bei der Klassifizierung des Fehlers nicht mit berücksichtigt wurde. Damit ist das darauf aufbauende Feedback ungenau, aber ausreichend. Weiterhin positiv anzumerken ist, dass ein Großteil der Automaten in verschiedensten Parametern konfigurierbar ist, zudem wurden gute default-Werte erarbeitet. Dafür waren die Entwickler auch gleichzeitig die Nutzer der Automatik. Automatisierte Tests wurden nach der Implementierung nicht mehr erstellt. Die Gruppe zeigte überdies ein hohes Maß an Arbeitsorganisation und Disziplin, was sich in regelmäßigen Sitzungsprotokollen und rechtzeitigen Abgaben der Aufgaben und Zwischenstände äußerte. Das Pflichtenheft wies eine gute, die Vorträge im Seminar eine sehr gute Qualität auf.

Besondere Leistungen der Gruppe 2 Gruppe 2 hat ebenfalls Automaten auf Basis ausführlicher Selbsttests entworfen. Besonders gelungen ist dabei eine Automatik, die das Abkommen von der Fahrbahn erschwert und die Lenkung der MWI dämpft. Damit ist ein fast fehlerfreies Steuern möglich. Sehr gut ist dabei, dass den MWI trotzdem nicht die Möglichkeit genommen wird, entgegen der Wirkung der Automatik weit von der Fahrbahn abzukommen. Die MWI werden dadurch nicht gezwungen, sondern sanft geführt, ohne wirklich etwas von dem Eingreifen der Automatik wahrzunehmen. Es liegt nahe, dass der direkte Eingriff der Automatik von den MWI als wenig belastend wahrgenommen und das Maß ihrer mentalen Beanspruchung damit gering gehalten werden konnte. Der zusätzliche Fahrkanal als letzte Stufe der Unterstützung scheint dabei fast nicht mehr

nötig zu sein und ist als letzter Notanker zu verstehen. Alle Automaten sind in ihren Parametern konfigurierbar, so dass ein Spektrum von sehr strikten bzw. sehr lockeren Wirkungsweisen möglich ist. Die Gruppe hat sich zusätzlich in die Rolle der MWI begeben, um das rechtzeitige Anzeigen von visuellen Hinweisen sowie die besten default-Werte für die harten Eingriffe zu finden. Die Gruppe hat im Vergleich zu Gruppe 1 weniger Sitzungsprotokolle angefertigt. Die Qualität des Pflichtenheftes und der Vorträge im Seminar wies eine sehr gute Qualität auf.

Fazit Aus Sicht der Expertengruppe, bestehend aus Professor Hartmut Wandke, Professor Klaus Bothe, Dipl. Inf. Michael Hildebrandt, Dipl. Inf. Nicolas Niestroj und Dipl. Psych. Charlotte Meyer, wurde hinsichtlich der primären Entscheidungskriterien die Qualität der Konzepte von Gruppe 1 aufgrund der entwickelten adaptiven Automatik im Vergleich zu Gruppe 2 als leicht höher bewertet. Der Grad der Umsetzung wurde als vergleichbar fortgeschritten angesehen, da beide Konzepte ausführbar und einsetzbar sind. In Bezug auf die sekundären Entscheidungskriterien schnitt Gruppe 1 bei der Einhaltung der Arbeitsdisziplin besser ab und Gruppe 2 bei der Güte des Pflichtenheftes. Die Vorträge beider Gruppen im Seminar waren von vergleichbar hoher Qualität. Um die sehr gute Leistung beider Gruppen zu würdigen und die geringen qualitativen Differenzen zu berücksichtigen, wurden die Preisgelder entsprechend mit nur geringen Preisgeldunterschieden zwischen erstem und zweitem Platz verteilt. In Gruppe 1 erhält somit jedes Mitglied 40 Euro in Form eines Amazon Gutscheines. In Gruppe 2 erhält jedes Mitglied 30 Euro.

Wir danken allen Studenten für die besonders engagierte Teilnahme am Seminar Mensch-Technik-Interaktion!

VERSUCHSMATERIAL: ENTWICKLUNG VON AUTOMATIKEN

C.1 KONZEPTBESCHREIBUNGEN

Die Konzepte der professionellen Entwickler aus der Studie von Saskia Kain wurden im Rahmen dieser Dissertation in der Nummerierung umbenannt, um den Lesefluss zu unterstützen. In Tabelle 39 wird diese Zuordnung wieder hergestellt, damit Leser der Dissertation von Saskia Kain die ihnen bekannten Konzeptnummerierungen rückverfolgen können. In dieser Arbeit wurden die Konzepte zusätzlich nach den drei Abstufungen der Ressource Informationsquellen sortiert. Dabei entsprechen die Konzepte 1-10 der Stufe 3 mit den meisten Informationsquellen, Konzept 11-20 entspricht der 2. Stufe und Konzepte 21-30 der Stufe 1 (siehe dazu auch Tabelle 12).

C.2 KONZEPT 19

Das in der Laborstudie eingesetzte Automatikkonzept aus der Studie von Saskia Kain soll hier vollständig wiedergegeben werden. Grundlage dafür ist die Niederschrift des Entwicklerteams, welche originalgetreu digitalisiert wurde.

C.2.1 *Automatik 1: Umgebungsanalyse*

C.2.1.1 *Begründung warum diese Automatik*

Erfassung der Umgebungssituation in Form von Fahrbahnanalyse und Hindernisanalyse, Informationen dienen als Input/ Grundlage/ Ist-Situation für die anderen Automatiken

C.2.1.2 *Welche Informationsquellen dienten als Ideengeber?*

- Reglerentwurf im geschlossenen Regelkreis
- Feedback-Prinzip

C.2.1.3 *Anforderungen*

- Erkennung der Fahrbahnsituation im vom Objekt aus gesehen nächsten 1/4 Fenster
- Unterscheidung in:
 - gerade Strecke
 - enge Rechtskurve
 - weite Rechtskurve

Tabelle 39: Umcodierung der Konzeptnummerierung von Saskia Kain

Konzeptnummer	Konzeptnummer Saskia Kain
1	37
2	38
3	40
4	41
5	42
6	43
7	44
8	45
9	46
10	47
11	28
12	29
13	30
14	31
15	32
16	33
17	34
18	35
19	36
20	48
21	20
22	21
23	22
24	23
25	24
26	25
27	26
28	27
29	39
30	49

- enge Linkskurve
- weite Linkskurve
- Gabelung
- Erkennung der Hindernislage in vom Objekt aus gesehen nächsten 1/4 Fenster
- Unterscheidung in:
 - statisches Hindernis rechts 25 %
 - statisches Hindernis rechts 50 %
 - statisches Hindernis links 25 %
 - statisches Hindernis links 50 %
 - dynamisches Hindernis
- Ausgaben der Abstandsinformation in Fahrtrichtung für alle Fälle 1)-5) sowie zusätzlich in horizontaler Richtung für Fall 5

C.2.1.4 Funktion 1: Fahrbahnanalyse

Betriebsebene (Situationsanalyse/ -beschreibung, auslösendes Ereignis für Funktionszustand führend) direkt mit Start der Fahrer

Taktische Ebene (Aufgaben der Funktion/ Requirements) kontinuierliche Erfassung der Fahrbahnsituation

Realisierungs-/Funktionsebene überwachend

Komponenten und deren Funktion Sensoren zur Erfassung des Fahrbahntyps

Überwachung folgender Parameter Fahrbahntyp

Art und Eigenschaft der Aktivität der Funktion

- gleiche Taktung wie Fahrereingriff (39 ms) einheitlich
- kontinuierlich bis Ende einer Fahrt

Konflikte mit anderen Automaten keine Konflikte

C.2.1.5 Funktion 2: Hindernisanalyse

Betriebsebene (Situationsanalyse/ -beschreibung, auslösendes Ereignis für Funktionszustand führend) direkt mit Start der Fahrer

Taktische Ebene (Aufgaben der Funktion/ Requirements) kontinuierliche Erfassung der Hindernissituation

Realisierungs-/Funktionsebene überwachend

Komponenten und deren Funktion

- Sensoren zur Erfassung von Hindernissen
- Sensoren zur Erfassung der Hindernistypen
- Sensoren zur Erfassung des Abstandes zu Hindernissen

Überwachung folgender Parameter

- Hindernistyp
- Abstand zu Hindernissen

Art und Eigenschaft der Aktivität der Funktion

- gleiche Taktung wie Fahrereingriff (39 ms) einheitlich
- kontinuierlich bis Ende einer Fahrt

Konflikte mit anderen Automaten keine Konflikte

C.2.2 *Automatik 2: Fahrerskalierung*

C.2.2.1 *Begründung warum diese Automatik*

- Verbesserung der Koordination zwischen den Fahrern
- Vermeidung vom übersteuern und negativer Beeinflussung der Fahrer untereinander

C.2.2.2 *Welche Informationsquellen dienen als Ideengeber?*

- Selbstversuch
- Video

C.2.2.3 *Anforderungen*

- abhängig von der von der Umgebungsanalyse bereitgestellten Information über Fahrprofil und Hindernis muss die Gewichtung der von den Fahrern erzeugten Stellgrößen erfolgen, in Abhängigkeit der für die jeweilige Situation passenden Zielsetzung der Fahrer (schnell/ genau)
- je enger die Kurve voraus, desto größer muss die Gewichtung des genauen Fahrers erfolgen
- wenn eine Gerade voraus ist, muss die Gewichtung auf den schnellen Fahrer erfolgen
- wenn ein statisches Hindernis voraus ist, so muss die Gewichtung des genauen Fahrers mit der Annäherung steigen
- wenn das Fahrzeug von der Fahrbahn abkommt, so muss die Gewichtung auf den genauen Fahrer gelegt werden

- abhängig von der Fahrsituation erfolgt eine Umschaltung zwischen den Gewichtsfunktionen:
 - auf Strecke
 - neben der Strecke
 - Hindernisse
- Umschaltungen müssen sanft, stoßfrei erfolgen
- Gewichtung einzelner Fahrer darf nie 100% oder 0% betragen, z.B. von 10% ... 90%

c.2.2.4 Funktion 1: Fahrprofilgewichtung

Betriebsebene (Situationsanalyse/ -beschreibung, auslösendes Ereignis für Funktionszustand führend) immer aktiv

Taktische Ebene (Aufgaben der Funktion/ Requirements) Veränderung der Gewichtung bei Gerade oder Kurve im Fahrprofil

Realisierungs-/Funktionsebene führend

Komponenten und deren Funktion Berechnung der Fahrergewichtung abhängig von Kurvenstärke oder Gerade

Überwachung folgender Parameter Ist: Profildaten der Umgebungsanalyse

Art und Eigenschaft der Aktivität der Funktion permanent wie Fahrereingaben

- Gesamtgewichtung beider Fahrer immer 100%
- jeder Fahrer von ca. 10...90%
- bei Gerade:
 - schneller Fahrer 75%
 - genauer Fahrer 25%
- bei weiter Kurve:
 - schneller Fahrer 40%
 - genauer Fahrer 60%
- bei enger Kurve:
 - schneller Fahrer 15%
 - genauer Fahrer 85%

Konflikte mit anderen Automaten Konflikt mit anderen Gewichtungen werden über Entscheidungslogik gelöst

C.2.2.5 Funktion 2: Fahrbahnverlassengewichtung

Betriebsebene (Situationsanalyse/ -beschreibung, auslösendes Ereignis für Funktionszustand führend) immer aktiv

Taktische Ebene (Aufgaben der Funktion/ Requirements) Gewicht auf genauen Fahrer, wenn Fahrbahn verlassen wurde

Realisierungs-/Funktionsebene führend

Komponenten und deren Funktion Berechnung der Gewichtung abhängig von Entfernung von der Fahrbahn

Überwachung folgender Parameter Ist: Profildaten der Umgebungsanalyse

Art und Eigenschaft der Aktivität der Funktion

- Gesamtgewichtung beider Fahrer immer 100%
- jeder Fahrer von ca. 10...90%
- permanent wie Fahrereingaben

Konflikte mit anderen Automaten Konflikt mit anderen Gewichtungen werden über Entscheidungslogik gelöst

C.2.2.6 Funktion 3: statisches Hindernis gewichten

Betriebsebene (Situationsanalyse/ -beschreibung, auslösendes Ereignis für Funktionszustand führend) immer aktiv

Taktische Ebene (Aufgaben der Funktion/ Requirements) Gewicht auf genauen Fahrer, wenn Hindernis näher kommt

Realisierungs-/Funktionsebene führend

Komponenten und deren Funktion Berechnung Gewichtung in Abhängigkeit von Entfernung des Hindernisses

Überwachung folgender Parameter Ist: Profildaten der Umgebungsanalyse

Art und Eigenschaft der Aktivität der Funktion

- Gesamtgewichtung beider Fahrer immer 100%
- jeder Fahrer von ca. 10...90%
- permanent wie Fahrereingaben

Konflikte mit anderen Automaten Konflikt mit anderen Gewichtungen werden über Entscheidungslogik gelöst

c.2.2.7 Funktion 4: Umschaltungsblock/Entscheidungslogik

Betriebsebene (Situationsanalyse/ -beschreibung, auslösendes Ereignis für Funktionszustand führend) immer aktiv

Taktische Ebene (Aufgaben der Funktion/ Requirements) Überblenden zwischen den Gewichtungen

Realisierungs-/Funktionsebene führend

Komponenten und deren Funktion Entscheidung welche Gewichtung genutzt wird aus Umgebungsanalyse

Überwachung folgender Parameter Ist: Profildaten der Umgebungsanalyse

Art und Eigenschaft der Aktivität der Funktion

- schaltet Gewichte um
- verhindert Sprünge der Gewichtungsfunktionen
- permanent wie Fahrereingaben

Konflikte mit anderen Automaten löst Konflikte der drei Funktionen „statisches Hindernissgewichtung“, „Fahrprofilgewichtung“ und „Fahrbahnverlassengewichtung“

c.2.2.8 Funktion 5: Gewichtsblock Summe

Betriebsebene (Situationsanalyse/ -beschreibung, auslösendes Ereignis für Funktionszustand führend) immer aktiv

Taktische Ebene (Aufgaben der Funktion/ Requirements) wendet Gewichtung auf Eingaben der Fahrer an

Realisierungs-/Funktionsebene führend

Komponenten und deren Funktion Multiplikator Fahrereingaben mit Gewicht

Überwachung folgender Parameter Ist: Profildaten der Umgebungsanalyse

Art und Eigenschaft der Aktivität der Funktion permanent wie Fahrereingaben

Konflikte mit anderen Automaten keine Konflikte

C.2.3 *Automatik 3: Gabelungsentscheidung*

C.2.3.1 *Begründung warum diese Automatik*

bei Gabelungen tritt häufig der Fall ein, dass beide Fahrer unterschiedliche Wege fahren wollen, weil diese besser zu ihrer Zielstellung passen (breit für genauen Fahrer, kurz für schnellen Fahrer)

C.2.3.2 *Welche Informationsquellen dienen als Ideengeber?*

- Systembeschreibung
- Selbstagieren als Personen des Systems
- Interview mit Personen des Systems

C.2.3.3 *Anforderungen*

- der Algorithmus berechnet die kürzere Strecke der Gabelung
- beide Fahrer sollen synchronisiert werden (akustisch + visuell)
- Skalierung der beiden Fahrerwünsche erfolgt nach wie vor aus der Fahrbahnanalyse

C.2.3.4 *Funktion 1: rechts oder links Entscheidung*

Betriebsebene (Situationsanalyse/ -beschreibung, auslösendes Ereignis für Funktionszustand führend) Gabelung voraus

Taktische Ebene (Aufgaben der Funktion/ Requirements)

- Berechnung ob links oder rechts herum kürzere Strecke ist
- kürzere Strecke nehmen

Realisierungs-/Funktionsebene überwachend

Komponenten und deren Funktion

- Algorithmus zur Berechnung der optimalen Bahnlänge in beiden Fällen
- Entscheidung für kürzere Strecke

Überwachung folgender Parameter Gabelung voraus?

Art und Eigenschaft der Aktivität der Funktion

- kürzest möglicher Überwachungsabstand
- immer aktiv während der Fahrt

Konflikte mit anderen Automaten keine Konflikte

c.2.3.5 Funktion 2: Signale an den Fahrer

Betriebsebene (Situationsanalyse/ -beschreibung, auslösendes Ereignis für Funktionszustand führend) Gabelung voraus

Taktische Ebene (Aufgaben der Funktion/ Requirements) Fahrer akustisch + optisch „rechts“ oder „links“ mitteilen

Realisierungs-/Funktionsebene führend

Komponenten und deren Funktion

- optischer Signalgeber
- akustischer Signalgeber

Überwachung folgender Parameter

- Gabelung voraus
- kürzeste Strecke berechnet

Art und Eigenschaft der Aktivität der Funktion

- blinkender Pfeil
- akustisches Signal auf entsprechendes Signal
- nur wenn Gabelung vorhanden
- kürzeste Strecke berechnet ist

Konflikte mit anderen Automaten evtl. Ablenkung des Fahrers

Erfragte Informationen

FRAGE: Wie sieht die visuelle Anzeige aus?

ANTWORT: erscheint kurz vor Gabelung direkt neben der Strecke links oder rechts in Abhängigkeit der Richtung

FRAGE: Was ist das auditive Signal?

ANTWORT: „links“ oder „rechts“

c.2.4 Automatik 4: Notfallautomatik

c.2.4.1 Begründung warum diese Automatik

- harte Kollisionsvermeidung in kritischen Fahrsituationen erforderlich
- Einleitung von Gegenmaßnahmen
- Zeiteinsparung, da Gegenmaßnahmen schneller als Kollision mit verbundener Bestrafung sind

C.2.4.2 Welche Informationsquellen dienen als Ideengeber?

- Selbstagieren als Personen des Systems
- allgemeine Notwendigkeit der Übersteuerung des Menschen in absoluten Notfallsituationen

C.2.4.3 Anforderungen

- maximal zulässiger Mindestabstand zu Hindernissen wird erkannt (Schwellwertprüfung)
- Erkennung, ob statisches oder dynamisches Hindernis, dazu notwendig
- Automatik schaltet Fahrerwunsch ab und ersetzt durch vorgegebene Notfallsteuerung

C.2.4.4 Funktion 1: statisches Hindernis ist zu nah

Betriebsebene (Situationsanalyse/ -beschreibung, auslösendes Ereignis für Funktionszustand führend) statisches Hindernis ist zu nah

Taktische Ebene (Aufgaben der Funktion/ Requirements) Umfahren des Hindernisses nach Vorgaben dieser Funktion

Realisierungs-/Funktionsebene führend

Komponenten und deren Funktion

- Erkennung dass Hindernis zu nah ist
- Umfahren auf vorgegebener Trajektorie

Überwachung folgender Parameter

- Abstand zum statischen Hindernis
- Schwellenwert

Art und Eigenschaft der Aktivität der Funktion

- Erkennung statisches Hindernis ist Umfahrung statisches Hindernis
- vom Zeitpunkt der Schwellenwertüberschreitung bis zur Beendigung des gesteuerten Verlaufs

Konflikte mit anderen Automaten keine Konflikte da Notfall höchste Priorität hat

Erfragte Informationen

FRAGE: Wie erfolgt das Umfahren des Hindernisses?

ANTWORT: 100% Übersteuerung der Personen, Objekt bleibt dabei auf Strecke.

C.2.4.5 Funktion 2: dynamisches Hindernis ist zu nah

Betriebsebene (Situationsanalyse/ -beschreibung, auslösendes Ereignis für Funktionszustand führend) dynamisches Hindernis ist zu nah

Taktische Ebene (Aufgaben der Funktion/ Requirements) warten in aktueller Position bis Hindernis weg

Realisierungs-/Funktionsebene führend

Komponenten und deren Funktion

- Erkennung dass Hindernis zu nah ist
- warten bis Hindernis nicht mehr im Weg

Überwachung folgender Parameter

- Abstand zum dynamischen Hindernis
- Schwellenwert

Art und Eigenschaft der Aktivität der Funktion

- Erkennung dynamisches Hindernis ist warten bis Weg wieder frei ist
- vom Zeitpunkt der Schwellenwertüberschreitung bis zur Beendigung des gesteuerten Verlaufs

Konflikte mit anderen Automaten keine Konflikte

Erfragte Informationen

FRAGE: Wie erfolgt das passieren lassen des dynamischen Hindernisses?

ANTWORT: 100% Übersteuerung der Personen, Vollbremsung

C.2.4.6 Funktion 2: Umschaltblock

Betriebsebene (Situationsanalyse/ -beschreibung, auslösendes Ereignis für Funktionszustand führend) Umschaltung zwischen normalen und Notbetrieb

Taktische Ebene (Aufgaben der Funktion/ Requirements) von Skalierung auf Kompletsteuerung umschalten

Realisierungs-/Funktionsebene führend

Komponenten und deren Funktion

- im Falle der Erkennung wird der Notbetrieb eingeschaltet
- nach dem Gefahr vorbei ist, wird der Notfallbetrieb wieder ausgeschaltet (Skalierungsbetrieb geht wieder online)

Überwachung folgender Parameter Erkennung aktiv oder nicht (ja/nein)

Art und Eigenschaft der Aktivität der Funktion

- solange aktiv wie nötig
- vom Zeitpunkt der Schwellenwertüberschreitung bis zur Beendigung des gesteuerten Verlaufs

Konflikte mit anderen Automaten keine Konflikte

VERSUCHSMATERIAL FÜR DAS ALS

D.1 INSTRUKTIONEN

Die folgenden Instruktionen wurden jeweils vor und nach den in den Unterkapiteln angegebenen Fahrten mit SAM von den Versuchspersonen gelesen. Sie wurden unverändert aus Gründen der Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Jens Nachtwei übernommen, die er im Rahmen seiner Dissertation erstellt hat (Nachtwei, 2010). Sie werden hier zur Information und näheren Studie der Versuchsdurchführung abgedruckt.

D.1.1 *Startinstruktion vor Fahrt 1 und Fahrt 3*

Herzlich Willkommen!

Bevor es richtig losgeht, können Sie sich mit der Steuerung vertraut machen. Bitte steuern Sie das runde Objekt die Strecke entlang bis zum Ziel.

Im Objekt selbst wird Ihnen Ihre aktuelle Geschwindigkeit angezeigt. Je grösser die schwarz ausgefüllte Fläche, desto schneller fahren Sie. Jede Abweichung des Objekts vom grauen Pfad stellt einen Fehler dar.

Sie steuern das Objekt per Joystick wie folgt: Bremsen (Joystickbewegung nach hinten), Beschleunigen (Joystickbewegung nach vorn), Lenken nach links (Joystickbewegung nach links) und rechts (Joystickbewegung nach rechts).

Klicken Sie bitte auf „Weiter“. Damit aktivieren Sie den Start-Countdown für die Steuerungsaufgabe.

D.1.2 *Endinstruktion nach Fahrt 1 und Fahrt 3*

Das war die Probeaufgabe.

Haben Sie noch eine Frage zum Ablauf? Dann stellen Sie sie bitte jetzt.

Bitte wechseln Sie dann an Ihren Laptop, um den ersten Teil der Befragung zu starten.

Bitte klicken Sie davor schon einmal auf "Weiter", damit die Daten Ihrer letzten Fahrt gespeichert werden, während Sie die Fragen beantworten.

D.1.3 *Startinstruktion vor Fahrt 2 und Fahrt 4*

Nun geht es mit dem Hauptteil des Versuchs los!

Ihre Aufgabe in dem Versuch wird es sein, ein kleines rundes Objekt einen Pfad entlang zu steuern. Das Objekt soll so schnell und

so genau wie möglich zum Ziel geführt werden. Im Objekt selbst wird Ihnen Ihre aktuelle Geschwindigkeit angezeigt. Je grösser die schwarz ausgefüllte Fläche, desto schneller fahren Sie.

Jede Abweichung des Objekts vom grauen Pfad stellt einen Fehler dar. Versuchen Sie bitte, das Objekt möglichst auf der Mittellinie entlang zu steuern. Sollten Sie einmal vom Pfad abkommen, steuern Sie bitte das Objekt auf dem kürzesten Weg wieder auf den Pfad zurück.

An einigen Stellen treffen Sie auf eine Pfadgabelung. Entscheiden Sie sich bei jeder Gabelung jeweils für einen der beiden Pfade und bleiben Sie dann bitte auf diesem Pfad. An anderen Stellen werden Ihnen bewegliche und unbewegliche Hindernisse begegnen. Bitte vermeiden Sie eine Kollision mit diesen Hindernissen, da diese als Fehler gewertet und mit einer kleinen Zeitstrafe belegt wird. Das bewegliche Hindernis wird den Pfad von links nach rechts überqueren - Sie haben dabei die freie Entscheidung, ob sie den Pfad vor oder nach dem Hindernis passieren.

Jede Steuerungsaufgabe starten sie mit dem Button "Weiter", der den Start-Countdown der Aufgabe aktiviert. Zwischendurch werden Sie gebeten, einige kurze Fragen zum Versuch zu beantworten. Bitte folgen Sie immer den Anweisungen auf dem Bildschirm.

Der Versuch wird ca. 60 Minuten dauern.

Schalten Sie Ihr Handy bitte vor Beginn des Versuchs aus und unterbrechen Sie den Versuch nur, wenn Sie dazu aufgefordert werden.

Sie dürfen während der Untersuchung nicht sprechen, da nur Ihr nonverbales Verhalten später anhand der Videoaufnahmen beurteilt werden soll.

Bei Fragen wenden Sie sich an den Versuchsleiter.

Um mit einer Trainingsfahrt, die Sie allein absolvieren, zu beginnen, klicken Sie bitte auf „Weiter“. Damit aktivieren Sie den Start-Countdown für die Steuerungsaufgabe.

Ihr Team wählte folgende Instruktion:

D.1.4 *Endinstruktion nach Fahrt 2 und Fahrt 4*

Diese Steuerungsaufgabe haben Sie gut überstanden!

Nun ist die andere Teilnehmerin/ der andere Teilnehmer an der Reihe.

Bitte holen Sie die andere Teilnehmerin/ den anderen Teilnehmer in den Versuchsraum und warten Sie bitte kurz draussen.

Bitte klicken Sie davor schon einmal auf „Weiter“, damit die Daten Ihrer letzten Fahrt gespeichert werden.

D.1.5 *Startinstruktion vor Fahrt 5*

Nun folgt die erste Steuerungsaufgabe, in der Sie beide gemeinsam das Objekt steuern. Denken Sie daran, dass Sie die Aufgabe nur dann gut bewältigen können, wenn Sie zusammenarbeiten.

Sie werden die nächsten 3 Fahrten als Team auf sich gestellt sein. Danach unterstützt Sie eine Automatik beim Steuern. Der Versuchs-

leiter wird Ihnen nun eine Liste der Eingriffe dieser Automatik aus-händigen - bitte lesen Sie sich diese genau durch.

Bitte klicken Sie auf „Weiter“, wenn Sie bereit sind den Start-Countdown zu starten, um mit der Steueraufgabe zu beginnen.

D.1.6 *Endinstruktion nach Fahrt 5-10*

Diese Steuerungsaufgabe ist beendet. Bitte geben Sie auf dem Ihnen zugewiesenen Laptop an, wie anstrengend Sie die gerade absolvierte Fahrt empfunden haben.

Wenn Sie die Frage dort beantwortet haben, kehren Sie bitte an diesen Arbeitsplatz zurück und fahren mit der nächsten Steuerungsaufgabe fort.

Klicken Sie nun auf „Weiter“, um die Daten der letzten Fahrt zu speichern und beantworten Sie die Frage auf dem Laptop, während die Daten der Fahrt gespeichert werden.

D.1.7 *Startinstruktion vor Fahrt 6, Fahrt 7 und Fahrt 9-11*

Die folgende Steuerungsaufgabe werden Sie wieder gemeinsam bewältigen.

Bitte klicken Sie auf „Weiter“, wenn Sie bereit sind den Start-Countdown zu starten, um mit der Steueraufgabe zu beginnen.

D.1.8 *Startinstruktion vor Fahrt 8*

Die folgende Steuerungsaufgabe werden Sie wieder gemeinsam bewältigen.

Wichtig: Ab jetzt wird die Automatik Sie unterstützen. Schauen Sie noch einmal auf das Blatt mit der Übersicht zu den Eingriffen der Automatik vor Ihnen, bevor Sie die Fahrt starten.

Bitte klicken Sie auf „Weiter“, wenn Sie bereit sind den Start-Countdown zu starten, um mit der Steueraufgabe zu beginnen.

D.1.9 *Endinstruktion nach Fahrt 11*

Sie haben alle Fahrten absolviert!

Bitte geben Sie auf dem Ihnen zugewiesenen Laptop an, wie anstrengend Sie die gerade absolvierte Fahrt empfunden haben.

Klicken Sie nun auf „Weiter“, um die letzte Fahrt zu speichern und beantworten Sie die Frage auf dem Laptop, während die Daten der Fahrt gespeichert werden.

WICHTIG: Melden Sie sich danach bitte beim Versuchsleiter, der Ihnen das weitere Vorgehen erklären wird.

D.2 EINGESETZTE FRAGEBÖGEN

Im Folgenden sollen die vor und nach dem Versuch eingesetzten Fragebögen aufgelistet werden. Mit diesen Daten lassen sich viele weitere Fragestellungen und Zusammenhänge erforschen, die aber nicht mehr im Fokus dieser Dissertation standen.

D.2.1 *vor der Untersuchung eingesetzte Fragebögen*

Die in Tabelle 40 dargestellten Fragen und Skalen wurden von jedem der beiden Versuchspersonen nach seinem individuellen Training beantwortet.

Tabelle 40: eingesetzte Fragebögen nach Fahrt 1 und 3

Item	Skala
Präferenz genauer oder schneller zu fahren	
Anstrengung	RSME Skala
Stimmung	Likert Skala 8 stufig, Smileys
Sympathie für die andere VP	Likert Skala 8 stufig, Smileys
Müdigkeit	Likert Skala 8 stufig
Sicherheit beim Umgang mit dem Joystick	Likert Skala 5 stufig

D.2.2 *nach der Untersuchung eingesetzte Fragebögen*

Nach der letzten Fahrt in SAM wurden die in Tabelle 41 dargestellten Fragebögen, Skalen und adhoc Fragen von jedem der beiden Versuchspersonen individuell ausgefüllt.

In Tabelle 42 werden die am Ende des Versuches gestellten Fragen aufgelistet. Diese Fragen wurden für die Untersuchungen in Stade (2012) erstellt und allen dieser Studie folgenden Untersuchungen ebenfalls eingesetzt.

Tabelle 41: eingesetzte Fragebögen nach Fahrt 11

Fragebogen	Anzahl Items
Erfahrung mit Trackingaufgaben	1
Stimmung	1
Sympathie für die andere VP	1
Müdigkeit	1
Sicherheit beim Umgang mit dem Joystick	1
subjektive Einschätzung der eigenen Leistung: Geschwindigkeit	1
subjektive Einschätzung der eigenen Leistung: Genauigkeit	1
subjektive Einschätzung der Leistung der anderen VP: Geschwindigkeit	1
subjektive Einschätzung der Leistung der anderen VP: Genauigkeit	1
eigene Präferenz schnell/genau fahren	1
Präferenz schnell/genau fahren der anderen VP	1
subjektive Einschätzung der Leistung des Teams	1
subjektive Einschätzung, wer mehr Anteil an der Leistung hatte	1
eigene Motivation eine gute Leistung zu erzielen	1
subjektive Einschätzung der Motivation der anderen VP	1
Zufriedenheit mit der Leistung des Teams	1
Bekanntheitsgrad mit der anderen VP	1
subjektiv empfundene Anstrengung (RSME)	1
erlebte Komplexität der Aufgabe	1
BFI-10 (Rammstedt & John, 2007)	10
HAKEMP90 (Kuhl, 1994)	12
AMS-R (Lang & Fries, 2006)	10
FESE-R (Nachtwei, 2008)	13
Verständnis der Teaminstruktion	1
Befolgung der Teaminstruktion	1
Gründe für die Leistung: Geschwindigkeit	1
Gründe für die Leistung: Genauigkeit	1

Tabelle 42: Gestellte Fragen am Ende des Versuches

Frage	Antwortformat
VP-Kennung	Zahl
AMD-Version	AAF
Teamnummer	Zahl
MWB-Nummer	MWB1 oder MWB2
Datum	Datum
Welche Teaminstruktion bezogen auf das Fahrverhalten hatten sie?	Das Team sollte vor allem XXXXXX fahren.
Was haben Sie sich bei der Instruktion gedacht?	Freitext
Was vermuten Sie: Welche Instruktion bezogen auf das Fahrverhalten hatte ihr Mitspieler/ Ihre Mitspielerin?	Mein Mitspieler/ meine Mitspielerin sollte vor allem XXXXXXXXX fahren.
Warum vermuten Sie das?	Freitext
Hat sich Ihre Vermutung im Verlauf der Untersuchung geändert?	ja,nein, falls ja, wann
Warum hat sich ihre Vermutung geändert?	Freitext
Haben Sie über Ihre Teaminstruktion im Verlauf der Untersuchung mit der anderen Teilnehmerin/ dem anderen Teilnehmer gesprochen?	ja, nein
Welche Annahmen über das Ziel der Untersuchung haben Sie?	Freitext
Wie stark unterstützend empfanden Sie die Eingriffe der Automatik? Geben Sie der Automatik eine Schulnote	1 = sehr gut bis 6 = ungenügend
Bitte begründen Sie kurz Ihre Note:	Freitext
Sie könnten statt von einer Automatik auch von einem Menschen unterstützt werden, der Sie überwacht und in die Steuerung eingreift. Woran machen Sie fest, dass Sie von einer Automatik unterstützt wurden?	Freitext
Sie haben mehrfach beurteilt, wie anstrengend Sie die Steuerungsaufgabe empfanden. Welcher Anteil (in %) war im Mittel körperliche, emotionale oder mentale Anstrengung?	Angabe in Prozent für körperlich, emotional, mental, Die Summe muss 100% ergeben

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich versichere hiermit an Eides statt, dass ich die Dissertationsschrift mit dem Titel „Entwicklung von Automaten für Mensch-Maschine-Systeme und Ergebnisse ihres Einsatzes “ in allen Teilen selbstständig verfasst und keine unerlaubten Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen, die anderen Werken dem Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, habe ich in jedem einzelnen Fall durch Angabe der Quelle, auch der benutzten Sekundärliteratur, als Entlehnung kenntlich gemacht. Ich habe mich nicht anderwärts um einen Doktorgrad beworben und besitze noch keinen Doktorgrad im Promotionsfach Psychologie. Die dem Verfahren zu Grunde liegende Promotionsordnung ist mir bekannt.

Berlin, 22. August 2014

Nicolas Niestroj